



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Efecto del costo y la resistencia en el diseño del concreto de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$
con la introducción de fibra de vidrio en la ciudad de Tarapoto**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Jilmer Coronado Guevara

Juan Carlos Zevallos Céspedes

ASESOR:

Ing. Nestor Raúl Sandoval Salazar

Tarapoto – Perú

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



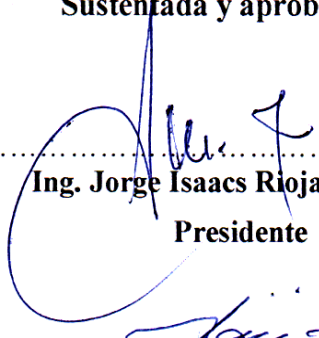
**Efecto del costo y la resistencia en el diseño del concreto de $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$
con la introducción de fibra de vidrio en la ciudad de Tarapoto**

AUTORES:

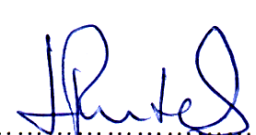
Jilmer Coronado Guevara

Juan Carlos Zevallos Céspedes

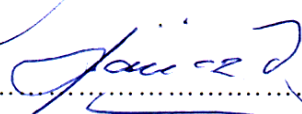
Sustentada y aprobada el día 04 de Agosto del 2020, ante el honorable jurado:


.....
Ing. Jorge Isaacs Rioja Diaz

Presidente


.....
Ing. Iván Gustavo Reátegui Acedo

Secretario


.....
Ing. Víctor Hugo Sánchez Mercado

Vocal


.....
Ing. Nestor Raúl Sandoval Salazar

Asesor

Declaratoria de autenticidad

Jilmer Coronado Guevara, con DNI N° 71896463 y **Juan Carlos Zevallos Céspedes**, con DNI N° 74360489, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Efecto del costo y la resistencia en el diseño del concreto de $F'c=210$ kg/cm² con la introducción de fibra de vidrio en la ciudad de Tarapoto.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

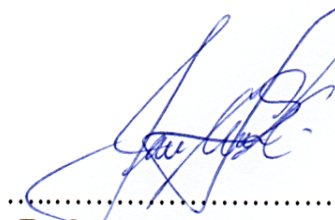
Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de nuestro accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 04 de agosto del 2020.



Bach. Jilmer Coronado Guevara

DNI N° 71896463



Bach. Juan Carlos Zevallos Céspedes

DNI N° 74360489


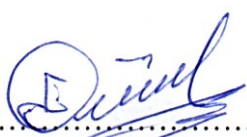


Declaración jurada

Jilmer Coronado Guevara, con DNI N° 71896463, Domicilio en el Jirón Ciro Alegría N° 274 - Distrito de Morales y **Juan Carlos Zevallos Céspedes**, con DNI N° 74360489, Domicilio en Jirón Augusto B. Leguía N° 2001 - Distrito de Bellavista, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **Declaramos bajo juramento que**, todos los documentos, datos e información en la presente tesis, son auténticos y veraces.



En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 04 de agosto del 2020.



Bach. Jilmer Coronado Guevara

DNI N° 71896463



Bach. Juan Carlos Zevallos Céspedes

DNI N° 74360489

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Jilmer Coronado Guevara	
Código de alumno :	71896463	Teléfono: 930664460
Correo electrónico :	jilmer2112@gmail.com	DNI: 71896463

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Civil y Arquitectura.
Escuela Profesional de:	Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	"Efecto del costo y la Resistencia en el diseño del concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la introducción de fibra de vidrio en la ciudad de Tarapoto"
Año de publicación:	2020

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

Firma y huella del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

28 / 09 / 2020

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.**
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización **NO EXCLUSIVA** para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Zevallos Caspedes Juan Carlos		
Código de alumno :	74360489	Teléfono:	998930813
Correo electrónico :	zevallos221994@gmail.com	DNI:	74360489

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Civil y Arquitectura
Escuela Profesional de:	Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	"Efecto del costo y la Resistencia en el diseño del concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la introducción de fibra de vidrio en la ciudad de Tarapoto"
Año de publicación:	2020

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


Firma y huella del Autor

8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

28 / 09 / 2020



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Este presente trabajo de investigación lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirnos en un profesional. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, A mis hermanos por estar siempre presentes brindándome su apoyo moral, a lo largo de esta etapa de mi vida.

Jilmer Coronado

Con mucho cariño a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, gracias por toda mamá y papá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, a mis hermanos y profesores por brindarme todo su apoyo durante mi carrera profesional.

Juan Carlos Zevallos

Agradecimiento

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios por bendecirnos para llegar hasta donde he llegado y a nuestros queridos padres por el apoyo constante durante nuestra carrera, porque hicieron realidad nuestro sueño anhelado.

A la Universidad Nacional de San Martín por darnos la oportunidad de estudiar y ser unos profesionales. A nuestro Asesor de tesis, Ing. Nestor Raúl Sandoval Salazar, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado que culminemos nuestros estudios con éxito.

Los autores.

Índice

	Pág.
Resumen	xvi
Abstract.....	xvii
 Introducción.....	 1
 CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	 3
1.1. Exploración preliminar orientando la investigación.....	3
1.2. Aspectos generales del estudio	3
1.3. Antecedentes, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver	4
1.3.1. Antecedentes del problema.....	4
1.3.2. Planteamiento del problema	4
1.3.3. Delimitación del problema	5
1.3.4 Formulación del problema.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Justificación de la investigación	6
1.6. Delimitación de la investigación	7
1.7. Marco teórico.....	7
1.7.1. Antecedentes de la investigación.....	7
1.7.2. Marco teórico.....	8
1.7.2.1. Propiedades del concreto en estado fresco	8
1.7.2.1.1. Trabajabilidad:.....	8
1.7.2.1.2. Consistencia.....	8
1.7.2.1.3. Compacidad	9
1.7.2.1.4. Peso unitario	9
1.7.2.1.5. Contenido de aire.....	10
1.7.2.1.6. Segregación	10
1.7.2.1.7. Exudación	11
1.7.2.1.8. Cohesividad	11
1.7.2.1.9. Estabilidad:	11
1.7.2.2. Propiedades del concreto en estado endurecido:	11

1.7.2.2.1. Elasticidad:	11
1.7.2.2.2. Resistencia	12
1.7.2.3. Aditivos químicos.....	12
1.7.2.3.1. Superplastificantes.....	13
1.7.2.4. Adiciones minerales	14
1.7.2.4.1. Microsílice	14
1.7.2.4.2. Mecanismos de acción.....	15
1.7.2.4.3. Fibra de vidrio	15
1.7.2.4.3.1. Definición	15
1.7.2.4.3.2. Característica de la Fibra de vidrio.....	16
1.7.2.4.3.3. Tipos de Fibra de Vidrio.....	17
1.7.2.5. Propiedades de los concretos de alta resistencia.	18
1.7.2.5.1. Módulo de elasticidad.....	18
1.7.2.5.2. Relación de Poisson.....	18
1.7.2.5.3. Comportamiento esfuerzo - deformación en compresión uniaxial.....	19
1.7.2.5.4. Módulo de rotura	20
1.7.2.5.5 Resistencia a la tensión por deslizamiento	20
1.7.2.5.6. Resistencia a la fatiga	21
1.7.2.5.7. Peso unitario	21
1.7.2.5.8. Evolución del calor debido a la hidratación	21
1.7.2.5.9. Ganancia de la resistencia con la edad	21
1.7.2.6. Agregados.....	22
1.7.2.6.1. Agregado fino	22
1.7.2.6.2 Agregado grueso.....	22
1.7.2.6.2.1 Aspectos generales.	22
1.7.2.6.2.2. Absorción.....	24
1.7.2.6.2.3. Resistencia intrínseca del agregado.....	24
1.7.2.7. Ventajas y desventajas del concreto de alta resistencia.....	25
1.7.2.7.1. Ventajas	25
1.7.2.7.2. Desventajas.....	25
1.7.2.8. Métodos	26
1.7.2.8.1. Principales métodos.....	26
1.7.2.9. Técnica estadística de validación de resultados	28
1.7.2.9.1. Contraste de hipótesis.....	28

1.7.2.9.2. ¿Qué es una hipótesis?.....	28
1.7.2.9.3. La lógica del contraste de hipótesis	28
1.7.2.9.4 Método general	29
1.7.2.9.5. Contraste sobre la distribución muestral	30
1.7.2.9.6. Tipos de errores en el contraste de hipótesis	30
1.7.2.9.7. Distribución t de Student.	31
1.7.2.9.8. Desviación estándar	32
1.7.2.9.9. Coeficiente de variación	33
1.7.2.9.10. Análisis de varianza.....	33
1.7.2.9.11. Grado de libertad	34
1.7.2.9.12. Suma de cuadrados	35
1.7.2.9.13. Cuadrados medios.....	36
1.7.3 Marco conceptual: terminología básica	36
1.7.3.1. Concreto de Buena Calidad	36
2.5.3.2. Cemento.....	37
1.7.3.3. Cemento Portland	37
1.7.3.4. Agua.....	37
1.7.3.5. Concreto.....	37
1.7.3.6. Agregado	37
1.7.3.7. Aditivo	37
1.7.3.8. Humo de sílice	38
1.7.3.9. Microsílice	38
1.7.3.10. Superplastificante	38
1.7.3.11. Granulometría.....	38
1.7.3.12. Exudación	38
1.7.3.13. Segregación	38
1.7.3.14. Fraguado	38
1.7.3.15. Curado	39
1.7.3.16. Absorción.....	39
1.7.3.17. Trabajabilidad.....	39
1.7.3.18. Peso Unitario	39
1.7.3.19. Resistencia a la Compresión ($f'c$).....	39
1.7.3.20. Tamaño Máximo (TM).....	39
1.7.3.21. Tamaño Máximo Nominal (TMN).....	39

1.7.4. Marco histórico.....	40
1.8. Hipótesis a demostrar	41
CAPÍTULO II.....	42
MATERIAL Y MÉTODOS	42
2.1. Materiales	42
2.1.1. Cemento.....	42
2.1.2. Agregado Fino	42
2.1.3. Agregado Grueso	42
2.1.4 Fibra de Vidrio.....	43
2.1.5 Agua.....	43
2.2 Diseño de Mezclas del Concreto	43
2.2.2. Diseño de Mezcla f'_c 210 kg/cm ² – Método: Comité 211 del ACI.....	44
2.3. Proporciones de la Mezcla.....	51
2.4. Elaboración del concreto	52
2.5. Ensayos realizados.....	53
2.5.1. Ensayos en estado fresco del concreto	53
2.5.1.1. Ensayo de revenimiento o asentamiento en el cono de Abrams (ASTM-C143)....	53
2.5.2. Ensayos en estado endurecido del concreto	55
2.5.2.1. Ensayo de resistencia a compresión	55
CAPÍTULO IV	58
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
3.1. Ensayos en estado endurecido del concreto	58
3.1.1. Comparación de la resistencia a compresión.....	58
3.1.1.1 Interpretación de datos: Concreto Patrón (CP) - Concreto con fibra de vidrio incorporada al 0.025% con respecto al peso los materiales (CE-01).....	61
3.1.1.2 Interpretación de datos: Concreto Patrón (CP) - Concreto con fibra de vidrio incorporada al 0.075% con respecto al peso los materiales (CE-02).....	62
3.1.1.3 Interpretación de datos: Concreto Patrón (CP) - Concreto con fibra de vidrio incorporada al 0.125% con respecto al peso los materiales (CE-03).....	63
3.1.2 Comparación del Slump del concreto.....	64
3.2 Análisis de Costos	64
3.2.1. Cálculo del costo del Concreto	66

3.3. Discusión de resultados	67
3.3.1. Efecto del % de fibra de vidrio en la resistencia a la compresión del concreto	67
3.3.2 Costos de producción del concreto normal y concreto adicionado 0.025% de fibra de vidrio.....	67
3.3.3 Efecto del % de fibra de vidrio en el slump.	67
3.4 Análisis estadístico	67
3.4.1 Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón (CP).....	67
3.4.2 Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión – Concreto Experimental (CE-01, con 0.025 % de fibra de vidrio).....	68
3.4.3 Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión – Concreto Experimental (CE-02, con 0.075 % de fibra de vidrio).....	69
3.4.4 Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión – Concreto Experimental (CE-03, con 0.125% de fibra de vidrio).....	70
3.5 Prueba de hipótesis	71
3.5.1. Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (CP) con respecto al concreto experimental (CE-01 con 0.025% de fibra de vidrio).....	71
3.5.2. Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (CP) con respecto al concreto experimental (CE-02 con 0.075% de fibra de vidrio).....	72
3.5.3. Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (CP) con respecto al concreto experimental (CE-03 con 0.125% de fibra de vidrio).	73
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS.....	79

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Características de la fibra de vidrio	17
Tabla 2: Tipos de errores en el contraste	31
TABLA 3: PESO ESPECIFICO DE LOS CEMENTOS gr/cm ³	42
Tabla 4: Características de los agregados	42
Tabla 5. Resistencia promedio.....	44
Tabla 6. Volumen unitario de agua	45
Tabla 7. Volumen unitario de aire	46
Tabla 8: Selección de la relación agua/cemento por resistencia	46
Tabla 9: valor para interpolación.....	47
Tabla 10: Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	49
Tabla 11. Valores de diseños	50
Tabla 12. Diseño final de la mezcla	50
Tabla 13. Diseño de Mezcla para Concreto Patrón (CP). Resistencia 210 Kg/cm ²	51
Tabla 14. Diseño de Mezcla para Concreto Experimental 1 (CE 1). Resistencia 210 Kg/cm ²	51
Tabla 15. Diseño de Mezcla para Concreto Experimental 2 (CE 2). Resistencia 210 Kg/cm ²	52
Tabla 16. Diseño de Mezcla para Concreto Experimental 3 (CE 3). Resistencia 210 Kg/cm ²	52
Tabla 17. Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² , concreto patrón (CP).....	58
Tabla 18. Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² , Muestra + adición de fibra de vidrio en 0.025% a los 28 días. (CE-01)	58
Tabla 19. Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² , Muestra + adición de fibra de vidrio en 0.075% a los 28 días (CE-02)	59
Tabla 20. Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² , Muestra + adición de fibra de vidrio en 0.125% a los 28 días (CE-03)	59
Tabla 21. Evolución de la resistencia a la compresión del concreto F'c=210 kg/cm ²	60
Tabla 22. Medición del Slump en laboratorio	64
Tabla 23. Costo unitario de materiales para el concreto normal	66
Tabla 25. Análisis estadístico del CP – Resistencia a la Compresión – 28 días	67
Tabla 26 Análisis estadístico del CE-01 – Resistencia a la Compresión – 28 días.....	68

Tabla 27 Análisis estadístico del CE-02 – Resistencia a la Compresión – 28 días.....	69
Tabla 28 Análisis estadístico del CE-03 – Resistencia a la Compresión – 28 días.....	70
Tabla 29 Análisis comparativo entre concreto patrón y concreto experimental (CE-01) – 28 días	71
Tabla 30 Análisis comparativo entre concreto patrón y concreto experimental (CE-02) – 28 días	72
Tabla 31 Análisis comparativo entre concreto patrón y concreto experimental (CE-03) – 28 días	73

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Curva esfuerzo deformación	19
Figura 2. Elaboración de probetas cilíndricas	53
Figura 3. Ensayo de Revestimiento o asentamiento en el cono de Abrams.	55
Figura 5. Ensayo de compresión del concreto	56
Figura 6. Tipo de falla de cilindros de prueba estándar.....	56
Figura 7. Evolución de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.....	60
Figura 8. Efecto del 0.025 % de fibra de vidrio en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días	61
Figura 9. Efecto del 0.075 % de fibra de vidrio en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días	62
Figura 10. Efecto del 0.125 % de fibra de vidrio en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.	63
Figura 11. Efecto del % de fibra de vidrio en el asentamiento de las mezclas del concreto a los 28 días.....	64

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo por finalidad, conocer el efecto del costo y de la resistencia en el diseño del concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con la introducción de fibra de vidrio en la ciudad de Tarapoto”. Asimismo, esta investigación está diseñada para conocer el efecto que tiene en el costo de producción y en la resistencia a la compresión con la incorporación de fibras de vidrio al Concreto Normal $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días respectivamente. Las variables dependientes estudiadas son el costo y la resistencia a la compresión en la producción del concreto. Y como variable independiente la fibra de vidrio incorporada en 0.025%, 0.075% y 0.125% con respecto al peso de los materiales. Los resultados indican que incorporando fibra de vidrio en 0.025%, 0.075% y 0.125% en el concreto normal $f'c$ 210 kg/cm^2 la resistencia a la compresión incrementa en 6.65%, 2.31% y 1.26% respectivamente, y el costo de producción disminuye en 3.29% con 0.025% de fibra de Vidrio.

Palabras clave: Costo, Resistencia a la compresión, Fibra de vidrio, Concreto.

Abstract

The present work of investigation had for purpose, to define the: "Effect of the cost and the resistance in the design of the concrete of $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ with the introduction of fiber glass in the city of Tarapoto". Likewise, this research is designed to determine the effect that the incorporation of glass fibers to the Normal Concrete $F'c=210\text{kg/cm}^2$ has at 7, 14 and 28 days respectively, in the production cost and in the resistance to compression. The dependent variables studied are the cost and the resistance to compression in the production of concrete, and as an independent variable the fiberglass incorporated in 0.025%, 0.075% and 0.125% regarding the weight of the materials. The results indicate that by incorporating fiberglass in 0.025%, 0.075% and 0.125% in normal concrete $F'c 210 \text{ kg/cm}^2$ the resistance to compression increases by 6.65%, 2.31% and 1.26% respectively, and the cost of production decreases by 3.29% with 0.025% fiberglass.

Key word: Cost, Compressive Strength, Fiberglass, Concrete.



Introducción

La adición de fibra en el concreto busca mejorar algunas de sus propiedades mecánicas tales como rigidez, tenacidad, resistencia a la compresión y a la tracción. Sin embargo los constructores utilizan estas fibras sin considerar sus propiedades, por ende esto genera un alto grado de incertidumbre al momento de realizar el concreto ya que al no conocer las propiedades de sus componentes no podemos garantizar cómo influirá la fibra en el concreto.

La presente investigación se realizara para la obtención de un concreto de 210 Kg/cm² con adición de fibra de vidrio, agregado fino y grueso del Rio Huallaga, a los 7, 14 y 28 días se basa principalmente en la combinación de agregados y un porcentaje de fibra de vidrio, lo que se trata de encontrar un costo unitario del concreto con adición de fibra y en cuanto mejora la resistencia mecánica.

El problema que se decidió investigar, gira en torno a la falta de investigación en la combinación de fibra de vidrio y agregado. Este tema se considera fundamental para el diseño de construcciones especiales.

Los diseños fueron realizados en el Laboratorio de la facultad de ingeniería civil y arquitectura de la UNSM, iniciándose con una proporción tentativa de materiales en base a un diseño teórico, ajustándose en dos repeticiones llegando a un diseño definitivo.

La introducción compromete el esquema capitular. En el capítulo I se indican los antecedentes; el planteamiento, delimitación y formulación del problema; así como el objetivo, la justificación y delimitación de la investigación.

En el capítulo II, concretamos el Marco teórico, el cual está constituido por los trabajos de investigación que anteceden a nuestro estudio y por la síntesis de las principales teorías que sustentan la propuesta. Tanto las teorías como los antecedentes permiten ver el por qué y el cómo de nuestra investigación.

En el capítulo III, se describen los materiales y la metodología usada en la investigación; así como el universo, población y muestra del presente trabajo, el diseño experimental, el diseño de instrumentos relacionado a normas de concreto y a técnicas estadísticas, de laboratorio y del propio diseño de concreto.

En el capítulo IV, se indican los resultados obtenidos en cuanto a las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido que muestran la evolución de la resistencia del concreto conforme avanza las edades del mismo, así como la propia resistencia del concreto obtenido. También se indica la comparación de estos resultados de concreto patrón con el concreto adicionado con aditivos.

En el capítulo V, se analizan y discuten los resultados obtenidos, tanto de los insumos o materiales utilizados en la preparación del concreto, de las propiedades del mismo concreto, así como de la resistencia a la compresión alcanzada.

Finalmente en el capítulo VI, se indican las conclusiones y recomendaciones del presente estudio de investigación.

Se espera que al desarrollar esta Tesis sirva para mejorar el avance de la Tecnología del Concreto, y siempre tratando que todos los conocimientos adquiridos sean puestos en práctica, ya que es la única forma de poder apreciar lo que nosotros consideramos un avance hoy en día, tal vez con el transcurrir del tiempo quede obsoleto al encontrarse nuevas metodologías al tratar de alcanzar una óptima calidad en la Tecnología del Concreto.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Exploración preliminar orientando la investigación

Los Diseños de concreto se comenzaron a desarrollar con estudios previos de laboratorio a partir de 1985 en los Estados Unidos, Japón y Alemania, debido fundamentalmente a que ya se había llegado a la conclusión, gracias a estudios previos, que se ganaba resistencia y se mejoraba la trabajabilidad.

La demanda, que existe en la actualidad del concreto debido al auge de la construcción en la Localidad nos hace plantear una investigación agregando Fibra de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas y el costo del m³ de en estado fresco y endurecido; debido a que no hay antecedente del uso de este material en la ciudad de Tarapoto que tiene un clima y agregados diferentes a otras localidades que afecta directamente las propiedades del concreto.

En la actualidad se tiene un avance en la tecnología de nuevas materias primas en la elaboración de aditivos y adiciones hace posible la producción de concretos con mejores propiedades de resistencia y durabilidad.

Estos concretos tienen múltiples aplicaciones. De ellas la más estudiada es la construcción de edificios de gran altura. La principal limitación es que todavía no se conoce en su totalidad las propiedades y comportamientos de estos concretos.

El propósito de ésta investigación es tratar de identificar los materiales y proporciones que conducirán a un mejor resultado, no sólo en resistencia, sino también en otras propiedades que deberán ser cuidadosamente seleccionados empleando todas las técnicas disponibles para garantizar el éxito de esta investigación.

1.2. Aspectos generales del estudio

La presente investigación trata de obtener un concreto con adición de fibra de vidrio y piedra chancada para obtener un concreto de 210 Kg/cm², usando Agregado Grueso del rio Huallaga, Agregado Fino del Rio Huallaga, además de Cemento Portland Tipo I, considerando asentamientos en el rango de 3” – 4” para lo cual se empezó con el diseño de

un concreto patrón, el cual sirvió de base principal para la obtención del concreto adicionado.

Así mismo, expone las propiedades de los diferentes materiales usados en la investigación, para lo cual los agregados (grueso y fino) fueron ensayados para conocer sus propiedades.

1.3. Antecedentes, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver

1.3.1. Antecedentes del problema

Según Eduardo Pinchi, “desde que se presentó la Tesis de “Mezclas de Concreto y sus resultados en la ciudad de Tarapoto” se abrió una ventana a la investigación para el estudio de diseño de mezclas con la intervención de dos canteras diferentes para su aprovechamiento en obras de construcción civil, siendo este un primer peldaño en el desarrollo de investigación relacionados al estudio de las propiedades y características de los agregados.

Roger García, aporta su tesis denominada “Diseño de Mezcla de concreto de $f'c$ 280 kg/cm² utilizando Aditivos, que ha permitido gradualmente abordar el tema de agentes químicos y aditivos para alcanzar las resistencias a la comprensión especificadas”. Siendo este otro antecedente y alcance para el estudio del diseño de mezclas.

Roger Meléndez, asegura que “Resultados Comparativos de diseños de Mezclas de Concreto con Agregados de los ríos Cumbaza y Huallaga “se orientan a fomentar la investigación de dos canteras para la elaboración de diseños de mezclas siempre dentro de los criterios permisibles de la Normas ASTM de agregados Grueso Y Fino, con criterios y Especificaciones; a trabajar para la obtención de concretos de diseños preestablecidos.

Néstor Sánchez, en su trabajo de investigación respalda las incidencias del agregado Grueso del rio Huallaga en la obtención de diseños de mezclas de concreto simple para cimentaciones corridas.

1.3.2. Planteamiento del problema

A lo largo de la historia, la idea de reforzar con materiales fibrosos se remonta al antiguo Egipto en donde se introducía paja al macizo arcilloso con el cual confeccionaban ladrillos para conferirle una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después de la cocción al sol.” (Millán, 2013)

El refuerzo del concreto mediante la adición de fibras durante el amasado del mismo es una

técnica que se ha implantado desde hace varias décadas encontrando diversas aplicaciones dentro del campo de los concretos estructurales y que actualmente sigue siendo objeto de estudio de numerosos investigadores, produciendo un gran avance en la industria de la construcción.

La adición de fibra en el concreto busca mejorar algunas de sus propiedades mecánicas tales como rigidez, tenacidad, resistencia a la compresión y a la tracción. Sin embargo los constructores utilizan estas fibras sin considerar sus propiedades, por ende esto genera un alto grado de incertidumbre al momento de realizar el concreto ya que al no conocer las propiedades de sus componentes no podemos garantizar cómo influirá la fibra en el concreto.

Es necesario aportar y proponer el uso de nuevas propuestas tecnológicas en lo que a concreto se refiere teniendo en cuenta las mejoras de las propiedades considerando el desempeño y participación de la combinación de dos canteras diferentes para su Elaboración.

1.3.3. Delimitación del problema

La presente investigación se delimitará a determinar la influencia en el costo y en la Resistencia la fibra de vidrio adicionada en un concreto de $f'c=210$ kg/cm²., y en dosificaciones de fibras de vidrio de 0.25%, 0.075% y 1.025% del peso del cemento de diseño en el diseño de mezcla, de acuerdo a las normas vigentes.

1.3.4 Formulación del problema

El problema surge a partir de la falta de estudios específicos de cómo encontrar un concreto con adición de fibra de vidrio y agregados como piedra chancada de la cantera del río Huallaga y arena del Río Huallaga.

Dado el problema, como lo mencionamos anteriormente, es necesario establecer Especificaciones técnicas para lograr diseños de concretos capaz de superar y establecerse en obras de construcción en nuestra Región, mediante la selección de la adición de este producto.

La pregunta es “**¿De qué forma se podrá establecer dosificaciones para diseñar concretos con adición de fibra de vidrio de 210 Kg/cm² con agregados del río Huallaga?**”

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Encontrar la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con incorporación de fibras de vidrio y su costo de producción por m^3 de concreto.

1.4.2. Objetivos específicos

Primero se deberá seleccionar los agregados adecuados, de acuerdo a las especificaciones técnicas revisadas, procediendo con la evaluación de la cantera del Rio Huallaga de allí se obtiene los agregados que se utilizara en esta investigación.

Diseñar y obtener concreto patrón de resistencia **210 Kg/cm²**, utilizando agregados de la cantera del Rio Huallaga.

Diseñar y obtener un concreto con adición de fibra de vidrio de resistencia **210 Kg/cm²**, encontrar su resistencia y su costo unitario.

1.5. Justificación de la investigación

En los últimos años en la ciudad de Tarapoto cada vez más se está realizando construcciones en altura más que todo complejos de vivienda que necesitan elementos prefabricados y cualquier otra debido a la necesidad cada vez más grande de realizar construcciones en altura, elementos prefabricados de altas prestaciones, y cualquier otra solicitud que requieran concretos cada vez más baratos y que mejoren la Resistencia.

Por lo que esta investigación agregando fibra de vidrio a la mezcla para la elaboración de concreto un nuevo compuesto que tiene poca investigación y mucho menos en nuestra Localidad.

Con la realización de este trabajo de investigación, se pretende obtener un documento que compile los resultados obtenidos de la realización de los ensayos de laboratorio, sirviendo estos de insumos para el diseño de mezclas de concreto con adición de otro compuesto.

Según Zapata y Arango (2013), el concreto reforzado con fibras se usa en diferentes tipos de elementos como por ejemplo en vigas, columnas, muros estructurales, pisos industriales, concretos lanzados, pasadores de pavimentos rígidos y en reparación de concretos.

1.6. Delimitación de la investigación

El presente trabajo de investigación considera utilizar solamente el uso de materiales agregados del río Huallaga y adición de fibra de vidrio; con la finalidad de reducir los costos y obtener una mejora en la resistencia mecánica del concreto.

1.7. Marco teórico

1.7.1. Antecedentes de la investigación

Tesis: Efecto de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto $f'c=210$ Kg/Cm² en la ciudad de Puno. Esta investigación describe un estudio experimental de la resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibras de vidrio. Asimismo, esta investigación está diseñada para conocer el efecto que tiene la incorporación de fibras de vidrio en la resistencia a la compresión y el costo de producción del Concreto Normal $f'c=210$ kg/cm² a los 7, 14 y 28 días.

Castiblanco y Carrero (2015), en su investigación “Estudio Teórico y Experimental del Comportamiento del Hormigón con Materiales no Convencionales: Fibras de vidrio y Fibra de Carbono, Sometido a Esfuerzos de Compresión”, realizada en la Universidad Católica de Colombia, Bogotá. Los investigadores estudiaron el comportamiento del concreto sometido a compresión, en el cual encontró información a partir de prácticas de laboratorio implementando briquetas cilíndricas de concreto con incorporación de fibras de vidrio y fibras de carbono. Los resultados de esta investigación muestran que se incrementa la resistencia a la compresión del concreto reforzado con fibras de vidrio en un 45% en comparación con el concreto simple sin fibras de vidrio. Además concluye que el porcentaje de fibras de vidrio fue de 0.8% del total de los componentes del concreto, con cantidades mínimas se puede llegar a mejorar la resistencia a la compresión del concreto.

Abdullah y Jallo (2011), en su investigación “Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Concrete”, realizado in the Department of Civil Engineering, University of Mosul. Los investigadores realizaron estudios experimentales de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de vidrio. La investigación se ha diseñado para determinar el efecto de las fibras de vidrio de (0 g, 600 g, 1000 g y 1400 g) por metro cubico en las propiedades mecánicas del concreto con y sin refuerzo de fibra de vidrio. Los resultados indican que la adición de fibra de vidrio en (0 g, 600 g, 1000 g y 1400 g) por metro cubico

aumenta la resistencia a la compresión del concreto en (3.6 %, 7.1 %, 9.3%) respectivamente.

Zapata y Arango (2013), en su proyecto de investigación “Influencia de la Fibra de Vidrio en las Propiedades Mecánicas de Mezclas de Concreto”, realizado en la Universidad EAFIT, Colombia. Los investigadores realizaron ensayos de resistencia a la compresión con porcentajes de fibra de vidrio de 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5% del peso total de la mezcla. Durante su proyecto lograron concluir que la fibra de vidrio como adición a las mezclas de concreto aporta de manera positiva en cuanto a la resistencia en compresión hasta 1% de fibra de vidrio, pero a mayores cantidades la resistencia en compresión disminuye.

1.7.2. Marco teórico

1.7.2.1. Propiedades del concreto en estado fresco

1.7.2.1.1. Trabajabilidad:

Portugal Barriga, manifiesta que encontrar una definición de trabajabilidad, es ya una idea muy subjetiva, las diferentes definiciones tratan de enlazar parámetros calificables según la perspectiva de cada evaluador, sin embargo, encontrar una definición adecuada para la trabajabilidad de los concretos de alto desempeño es necesaria, la definición propuesta por Glanville, Collins y Matthews nos dice que “la trabajabilidad se puede definir mejor como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total”, esta definición originada del supuesto que solo la fricción interna (esfuerzo de fluencia), es una propiedad intrínseca de la mezcla nos brinda una aproximación cuantitativa de la trabajabilidad, sin embargo define un estado ideal de compactación total la cual nunca se logrará, una corrección bastante simple a esta definición es la que a continuación proponemos, *“la trabajabilidad se puede definir como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación adecuada de la mezcla”*.

Pasquel Carbajal, señala que está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto.

1.7.2.1.2. Consistencia:

Cachay Huamán, considera que es una propiedad del concreto fresco que está en relación directa con el grado de humedecimiento de la mezcla, determinando de acuerdo al menor o mayor contenido de agua 3 tipos de mezclas:

- ❖ Mezclas secas
- ❖ Mezclas plásticas
- ❖ Mezclas húmedas

La prueba del cono de Abrams o de Slump es tal vez el ensayo más largamente usado para caracterizar la consistencia de un concreto. Muchos investigadores han tratado de realizar modelos con los cual puedan predecir el valor de Slump, sin embargo los modelos presentados hasta el momento presentan un error promedio alto.

Portugal Barriga, comparte que la adición de la microsílíce a las mezclas ha dado como resultado un concreto más cohesivo y menos propenso a la segregación, este comportamiento se observó en todas las mezclas elaboradas con este material.

1.7.2.1.3. Compacidad:

Gonzales García, dice que es un factor característico de la trabajabilidad y está relacionado con la compactibilidad, y es la propiedad que debe tener todo concreto de modo que en un volumen fijo quepa la mayor cantidad de agregado grueso y la mayor cantidad de pasta. En estas condiciones se obtendrá un concreto muy denso de gran resistencia y más impermeable, es decir, muy estable cuando está endurecido.

1.7.2.1.4. Peso unitario:

Aybar de la Torre, señala que el peso unitario del concreto es el peso varillado por una unidad de volumen de una muestra representativa del concreto. Se expresa en kg/m^3 .

El procedimiento para su determinación, consiste en llenar un molde de volumen determinado (muestra representativa), en tres capas sucesivas con 25 golpes cada capa y luego pesar. Entonces por definición.

Peso unitario del concreto es igual al peso total menos el peso del molde entre el volumen del molde.

De acuerdo al tipo de agregado utilizado, los concretos se clasifican en:

- Concreto Normales ($2200 - 2500 \text{ Kg/m}^3$)
- Concretos Livianos ($600 - 1800 \text{ kg/cm}^3$)
- Concretos Densos ($2700 - 4500 \text{ kg/m}^3$)

1.7.2.1.5. Contenido de aire:

Gonzales García, en su trabajo de Tesis agrega que esta es una propiedad que tiene todo concreto, puesto que el aire es un volumen integrante de una mezcla y su presencia es inevitable. La importancia radica en el porcentaje de aire que contenga una mezcla y el cómo manejarlo para que su presencia no afecte las propiedades requeridas.

El contenido de aire influye en concretos que no hayan tenido una buena dosificación, transporte y compactación, originando cangrejeras formando un porcentaje de aire indeseable, constituyéndose en vías de ataque para los agentes climáticos.

Una cantidad significativa de material que pase la malla N° 200, especialmente en la forma de arcilla, puede reducir el contenido de aire en el concreto y obligar a que se emplee más aditivo incorporado de aire para obtener los mismos resultados.

1.7.2.1.6. Segregación:

Aybar de la Torre, indica que la segregación representa el estado opuesto de la homogeneidad, se define como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero.

Otras causas de segregación menos usuales puede ser el empleo del agregado grueso cuya gravedad específica difiere apreciablemente de la que tiene el agregado fino. Otra puede ser el empleo del agregado grueso cuyo tamaño máximo excede las dimensiones del elemento estructural.

Este es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciéndose en el elemento llenado bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejeras, etc. Lo que implica un deficiente comportamiento estructural del elemento, la segregación es una función de la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuando más humedad es ésta y menor cuanto más seca es.

Gonzales García, manifiesta que en la etapa de producción de concreto en obra se tiene que tener bastante cuidado, puesto que generalmente los procesos de transporte, colocación, y compactación del concreto son las causas externas del fenómeno de segregación.

1.7.2.1.7. Exudación:

Aybar de la Torre, manifiesta que se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos.

Este fenómeno ocurre momentos después que el concreto ha sido colocado en el encofrado.

La exudación puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla, de un exceso de agua de la misma, así como también de la fuerza del cemento, de la utilización de aditivos, y de la temperatura, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación.

Cuando se aprecia una exudación excesiva, debe adoptarse medidas en su granulometría para controlar o eliminar los efectos negativos que pudiera tener en el resultado final. Una forma de contribuir a controlar la exudación es el empleo de una combinación adecuada de arenas gruesas y finas, a fin de incrementar la superficie específica y disminuir el volumen de exudación.

1.7.2.1.8. Cohesividad:

Aybar de la Torre, considera que es la propiedad del concreto fresco que trata de impedir la posible segregación de la mezcla durante el traslado, colocación y compactación de la misma. Desde el punto de vista físico y microscópico, se puede interpretar éste fenómeno como las fuerzas de atracción entre las partículas del concreto, las cuales se transmiten a través del medio líquido que las rodea siendo éste “medio líquido” (pasta de cemento) no genera las fuerzas suficientes para mantener “ordenadas” a las partículas (agregados) separándose las livianas de las más pesadas originando segregación en la misma.

1.7.2.1.9 Estabilidad:

Pasquel Carbajal, agrega que es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas.

1.7.2.2. Propiedades del concreto en estado endurecido:

1.7.2.2.1. Elasticidad:

Rivva López, señala que es la capacidad del concreto de deformarse bajo cargas sin tener

deformación permanente se considera una medida de la resistencia del material a deformarse, ya que las mezclas más ricas tienen mayor módulo de elasticidad y por consiguiente mayor capacidad de deformarse que las mezclas pobres.

1.7.2.2. Resistencia:

Gonzales García, indica que es la propiedad por la cual el concreto determina su capacidad para soportar cargas y esfuerzos sin romperse, siendo la resistencia a la compresión la que establece su calidad. Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, expresado en términos de R a/c en peso, también está en función de tipo, características físicas y químicas de sus materiales constituyentes como calidad y tipo de cemento, calidad resistente y granulometría de agregados, como también factores externos, la temperatura, técnicas de mezclado, transporte colocación, compactación y curado del concreto.

Un factor indirecto y de importancia lo constituye el curado puesto que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegaría a desarrollar completamente las características resistentes del concreto.

La relación agua/cemento es el factor quizás más importante que determina el grado de resistencia que adopta un concreto totalmente compactado, que definió Duff Abrams en 1918 “ley de Abrams” y estableció que para un conjunto dado de materiales y condiciones de trabajo, el factor determinante de la resistencia era la relación agua/cemento de diseño, en la que se excluye el agua absorbida por el agregado. En esta teoría las resistencias son mayores con la disminución de la relación agua/cemento.

Pero no olvidemos que los agregados son materiales que representan aproximadamente las $\frac{3}{4}$ partes de la unidad cúbica de concreto, lo cual influye dependiendo de su forma, textura, dureza, tamaño máximo, granulometría en las propiedades resistentes del concreto.

Esto llevó a que en 1923 el Norteamericano Gilkey observe la ley de Abrams y sostenga que el agregado no es un material inerte de relleno y plantea su teoría en cuanto a la resistencia del concreto y quizás las más aceptable hasta nuestros días.

1.7.2.3. Aditivos químicos

Rivva López, señala que los aditivos son ampliamente empleados en la producción de concretos de alta resistencia. Estos materiales incluyen agentes y adiciones químicas y minerales. Los primeros desarrollan un sistema de vacíos apropiados para incrementar la durabilidad.

Los aditivos químicos son generalmente producidos empleando lignosulfonatos, ácido hidroxilar carboxílico, carbohidratos, melamina y acetato condensado, y aceleradores orgánicos e inorgánicos de diversas formulaciones. La selección del tipo, marca y dosaje de los aditivos empleados deberá basarse en su comportamiento con otros materiales seleccionados para su uso en el proyecto de investigación, incrementos significativos en la resistencia en compresión, control de la velocidad de endurecimiento, ganancia acelerada de resistencia, mejora en la trabajabilidad y durabilidad, todas ellas contribuciones que pueden esperarse del aditivo o aditivos elegidos. El comportamiento en trabajos previos debe ser considerado durante la selección.

1.7.2.3.1. Superplastificantes

Torres, señala que estos son conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango se encuentran especificados en ASTM C 494 y ASTM C 1017, los cuales tienen por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado.

Se agregan a los concretos de agua/cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto asentamiento

Los superplastificante son aditivos derivados de los formaldeidos melanina o naftaleno que tienen la propiedad de darle a la mezcla una gran plasticidad al liberar el agua sujeta a los otros materiales integrantes de ella.

También conocido como aditivo reductor de agua de alto rango, su empleo tiene por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla del concreto.

Rivva López, añade que la dosificación depende del tipo y marca del producto y se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante en cada caso. Su empleo permite reducir el agua en un 20% a 30%, aumentar la facilidad de manejo, y aumentar la resistencia a edades tempranas y finales.

1.7.2.4. Adiciones minerales

1.7.2.4.1. Microsílice

Según el Comité 116 del ACI, se entiende por Microsílice a: “*Una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro silicio*”. Es un polvo fino de color gris y cumple con la Norma ASTM C1240.

Rivva López, señala que el 93% de su composición es óxido de silicio (SiO_2). No contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto. Como datos técnicos se tiene:

- ❖ Apariencia: polvo gris
- ❖ Gravedad específica: 2.20
- ❖ Superficie específica (Blaine) 18000 a 22000 m^2/Kg
- ❖ Partícula: Amorfa, de forma esférica.
- ❖ Finura (diámetro promedio): 0.1 a 0.2 μm .
- ❖ Porcentaje que pasa 45 μm : 95-100%.

Las Microsílice y los aditivos conteniéndolas han sido empleados en concretos de alta resistencia para propósitos estructurales y para aplicaciones superficiales y como material de reparación en situaciones en las que la resistencia a la abrasión y la baja permeabilidad son ventajosas.

Asimismo Rivva Lopez, manifiesta que la microsílice consiste en partículas vítreas muy finas con un área superficial del orden de 20,000 m^2/Kg cuando se mide por las técnicas de absorción de nitrógeno. La distribución por tamaños de una Microsílice típica muestra la mayoría de las partículas como menores de un micrómetro (1 μm) con un diámetro promedio de 0.1 μm el cual es aproximadamente 100 veces menor que las partículas de cemento promedio. La densidad de masa es aproximadamente de 160 a 320 Kg/m^3 ; sin embargo, por razones comerciales puede encontrarse en formas densificada o lechada. Esta debido a su extrema fineza y alto contenido de sílice, son un alto material Puzolánico efectivo. La Microsílice reacciona puzolánicamente con la cal durante la hidratación del cemento para formar materiales cementicios puzolánicos estables de silicato de calcio hidratado (CSH). La disponibilidad de aditivos reductores de agua de alto rango ha facilitado el empleo de la

Microsílice como parte del material cementante del concreto para producir concretos de alta resistencia. Normalmente el contenido de Microsílice de un cemento varía del 5% al 15% del contenido del cemento portland.

Rivva López, añade también que el empleo de Microsílice para producir concretos de alta resistencia se ha incrementado significativamente a partir de 1980. Tanto las experiencias de laboratorio como las de obra de los concretos a los cuales se ha incorporado Microsílice tienen un incremento en la tendencia para desarrollar grietas por contracción plástica. Por ello, es necesario cubrir rápidamente la superficie del concreto con Microsílice recién colocado para prevenir una rápida evaporación de agua.

1.7.2.4.2. Mecanismos de acción

Morataya, adiciona que la Microsílice reacciona con el hidróxido de calcio que se forma como subproducto en el proceso de hidratación del cemento, dando como resultado un incremento en la cantidad de silicato de calcio hidratado, ligante que se sabe proporciona al concreto su resistencia y que es conocido como gel. Este incremento en el contenido de gel disminuye los poros capilares de la pasta, hace la pasta más compacta, facilita la distribución de los elementos mayores y aumenta la densidad del sistema.

Las fuerzas superficiales que actúan entre las partículas de Microsílice, pueden impedir una adecuada dispersión de ésta en el concreto fresco. Los superplastificantes, al reducir el exceso de agua y las fuerzas superficiales, hacen a las partículas más móviles, permiten una compactación más densa y mejoran la dispersión del sistema.

La Microsílice reacciona dentro de los primeros 28 días, con el hidróxido de calcio formando durante la hidratación y mejorando la resistencia en compresión del mortero. Además, modifican la distribución por tamaños de los poros por reacción con el hidróxido de calcio formado y producen una estructura de poros más discontinua e impermeable que la pasta hidratada.

1.7.2.4.3. Fibra de vidrio

1.7.2.4.3.1. Definición

Son las más utilizadas como refuerzo en los composites aplicados a la construcción, debido fundamentalmente, a la excelente relación existente entre características y precio (Olivares, Galán y Roa, 2003).

Las fibras de vidrio están elaboradas con las mismas materias primas que el vidrio: sílice, cal, alúmina y magnésita, a las cuales se le añaden ciertos óxidos en porcentajes muy estrictos, según los tipos de fibras que se quieran obtener.

Todos estos componentes se mezclan y trituran hasta conseguir una mezcla homogénea que se introduce en un horno de fusión a temperatura de 1550 °C, en el cual la mezcla pasa progresivamente a un estado líquido. El vidrio en estado líquido pasa por las hileras, por centenares de orificios de 1 a 2 mm de diámetro, a la salida de los cuales son estirados mecánicamente hasta conseguir unos filamentos de 5 a 24 micras, dependiendo de las aplicaciones. Posteriormente se revisten estos filamentos con una dispersión acuosa de compuestos, generalmente orgánicos operación denominada “ensimaje” que garantiza la unión entre filamentos y la protección del hilo. Los filamentos, una vez revestidos, se reúnen para formar el hilo al que finalmente se le da un acabado textil o plástico.

1.7.2.4.3.2. Característica de la Fibra de vidrio.

Según Olivares et al. (2003), las principales características de las fibras de vidrio son las siguientes:

- Buenas resistencias mecánicas.
- Buen aislante eléctrico.
- Baja densidad.
- Incombustibilidad.
- Estabilidad dimensional.
- imputrescibilidad
- Buena flexibilidad
- Bajo costo.
- Buena resistencia a agentes químicos.
- Baja rigidez.
- Menor resistencia a la fatiga que otras fibras.
- Alta dureza.

Según Muñoz (2007), las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio son:

Tabla 1

Características de la fibra de vidrio

Descripción	Vidrio E	Vidrio D	Vidrio R
Densidad (g/cm ³)	2.6	2.14	2.56
Resistencia a la tensión (Mpa)	3400	2500	4400
Módulo elástico (Mpa)	72	55	86
Resistencia a la ruptura (%)	4.5	4.5	5.2

1.7.2.4.3.3. Tipos de Fibra de Vidrio.

Fibra de vidrio E

Es la más utilizada, ya que representa el 90% del refuerzo utilizado en los composites. También es la que más se utiliza en la industria textil. Tiene muy buenas propiedades eléctricas. Es durable y de bajo coste, poca absorción de humedad (Olivares et al., 2003).

Fibra de vidrio A

Tiene un alto porcentaje de sílice, sus propiedades mecánicas son inferiores y tiene un módulo más bajo que el vidrio E, se utiliza como reforzante y tiene una gran resistencia química, es resistente a medios alcalinos (Olivares et al., 2003).

Fibra de vidrio S

Es borosilicato de calcio de bajo contenido en álcalis, de gran durabilidad, posee excelentes propiedades eléctricas (Olivares et al., 2003).

Fibra de vidrio C

De altas resistencias químicas. Es un vidrio intermedio entre el A y el E. Se utiliza en las capas superficiales de elementos expuestos a la corrosión o de estructuras anticorrosión (Olivares et al., 2003).

Fibra de vidrio R

Tiene unas altas resistencias mecánicas, siendo su resistencia a la tracción y su módulo de

elasticidad muy superiores a los de los otros vidrios. Se emplea, sobre todo, en los campos de la aeronáutica, aviación, armamento y, en general, cuando se exigen materiales muy resistentes a la fatiga, la temperatura y la humedad (Olivares et al., 2003).

Fibra de vidrio D

Tiene unas altas propiedades dieléctricas por lo que su empleo es recomendado en la construcción de materiales electrónicos, de comunicación y como material permeable a las ondas electromagnéticas. Se utiliza en la fabricación de radares y ventanas electromagnéticas (Olivares et al., 2003).

1.7.2.5. Propiedades de los concretos de alta resistencia.

1.7.2.5.1. Módulo de elasticidad

Morataya, en 1934 se informó de los valores por el módulo de elasticidad determinado, como la cuesta de la tangente a la curva esfuerzo-deformación uniaxial de compresión a 25 por ciento de tensión del máximo de 29GPa a 36GPa para hormigones que tienen resistencias a compresión que van de 69MPa a 76Mpa. Muchos otros investigadores han informado valores por el módulo de elasticidad de concreto de alta resistencia solidifica del orden de 31 a 45 GPa, que dependen principalmente del método de determinar el módulo. Una comparación de valores determinados experimentalmente para el módulo de elasticidad son aquellos por la expresión dada de ACI 318, Sección 8.5 para concretos de resistencia baja, y se basó en un peso de la unidad seco de 2346 kg/m³.

Se han propuesto muchas correlaciones entre el módulo de elasticidad (E_c) y la resistencia en compresión (f'_c). Las desviaciones del valor predicho son solamente dependientes de las propiedades y proporciones del agregado grueso.

1.7.2.5.2 Relación de Poisson

La información sobre la Relación de Poisson para los concretos de alta resistencia es muy limitada. Shideler y Carrasquillo, han reportado valores de concretos de alta resistencia preparados con agregados livianos, teniendo una resistencia a la compresión uniaxial de 730 Kg/cm² a los 28 días, en los que la relación de Poisson era el 0.20 independientemente de la resistencia en compresión, edad y contenido de humedad. Los valores determinados por el método dinámico fueron ligeramente mayores.

Por otra parte, Perenchio y Klieger, han reportado valores para la relación de Poisson de concretos de peso normal y alta resistencia con resistencias en compresión variando de 55 a 80 Mpa, entre 0.20 y 0.28. Ellos han indicado que la relación de Poisson tiende a disminuir con incrementos en la relación agua/cemento.

Rivva López, señala que Kaplan ha encontrado valores para la relación de Poisson determinados empleando medidas dinámicas entre 0.23 y 0.32 independientes de la resistencia en compresión, agregado grueso y edad de ensayo, para concretos con resistencias en compresión que variaban de 17 a 79 Mpa.

Basándose en esta información, la relación de Poisson de concretos de alta resistencia en el rango elástico es comparable al rango de valores esperado para los concretos de baja resistencia.

1.7.2.5.3. Comportamiento esfuerzo - deformación en compresión uniaxial

Rivva López, señala que los esfuerzos axiales Vs las curvas de deformación para concretos con resistencias en compresión hasta de 83 Mpa han sido estudiados detalladamente por el ACI. El perfil de la parte ascendente de la curva esfuerzo-deformación es más lineal y parado para los concretos de alta resistencia, y la deformación en el esfuerzo máximo es ligeramente más parada para los concretos de alta resistencia. Para obtener la parte descendente de la curva esfuerzo-deformación, es generalmente necesario evitar la interacción de los especímenes de ensayo; ello es más difícil en los concretos de alta resistencia.

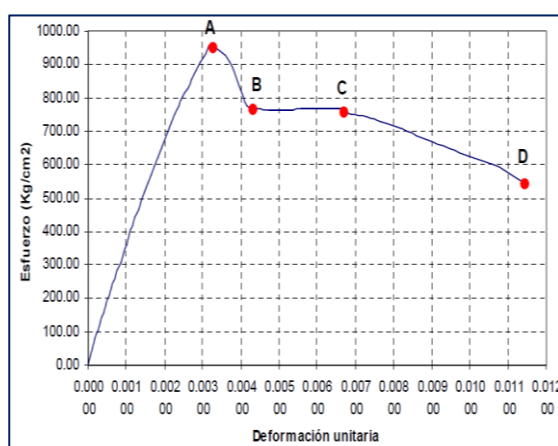


Figura 1: Curva esfuerzo deformación

En el Figura N° 01 se puede observar la curva esfuerzo deformación, en donde podemos identificar 4 zonas bien definidas:

La primera zona corresponde al estado elástico del concreto, se observa una recta con pendiente pronunciada, esta zona finaliza en el punto de máxima resistencia de la muestra de concreto.

La segunda zona corresponde a un descenso de la resistencia a la compresión, se ha entendido que en esta zona el concreto que cubre al reforzamiento falla totalmente no aportando a la resistencia a la compresión en el punto final de esta zona corresponde a la resistencia portada por el núcleo de concreto confinado.

En la tercera zona se puede apreciar un ligero incremento de la resistencia, siendo este muy pequeño, sin embargo la deformación unitaria ya alcanza el doble de la deformación de la primera zona.

En la última zona se observa un descenso de la resistencia pudiendo llegar a ser este mayor hasta llegar a la falla total del testigo.

1.7.2.5.4. Módulo de rotura

Rivva López, manifiesta que los valores reportados por diversos investigadores para el módulo de rotura tanto de concreto de bajo peso como los de peso normal están en el rango de raíz cuadrada de $7.3f_c$ a raíz cuadrada de $12f_c$, cuando tanto el módulo de rotura como la resistencia en compresión están expresados por psi (libra/pulg²).

1.7.2.5.5 Resistencia a la tensión por deslizamiento

Dewar, ha estudiado la interrelación entre la resistencia a la tensión indirecta y la resistencia a la compresión por encima de 84 Mpa a los 28 días.

Él concluye que en las bajas resistencias, la resistencia a la tensión indirecta puede ser tan alta como un 10% de la resistencia en compresión pero que en las altas resistencias ella puede reducirse al 5%. Él ha observado que la resistencia a la tensión por deslizamiento era del orden del 8% más alta si se empleaba en el concreto agregado grueso consistente en roca partida en relación a los concretos preparados a base de grava como agregado grueso.

Adicionalmente, Dewar, ha encontrado que la resistencia por tensión indirecta era un 70% de la resistencia a la flexión a los 28 días. Carrasquillo, Nilson y Slate han reportado que la resistencia al deslizamiento no varía mucho del rango de los valores usuales, aun cuando la resistencia en compresión se incrementa. Los valores de resistencia al deslizamiento caen dentro del límite superior del rango esperado.

1.7.2.5.6. Resistencia a la fatiga

Rivva López señala que el comportamiento a la fatiga de concretos de alta resistencia es muy limitado. Bennet y Muir han estudiado la resistencia a la fatiga en compresión axial en concretos de alta resistencia y encontraron que después de un millón de ciclos, la resistencia de especímenes de concreto sujetos a cargas repetidas varía entre 66% y 71% de la resistencia estática para un nivel de esfuerzos mínimo de 8.6 Mpa. Los valores menores fueron encontrados para los concretos de más alta resistencia y para concretos preparados con los tamaños menores de agregado grueso, pero la actual magnitud de las diferencias fue pequeña.

En la medida de lo que en la actualidad se conoce, la resistencia a la fatiga de los concretos de alta resistencia es la misma que para los concretos de bajas resistencias.

1.7.2.5.7. Peso unitario

Rivva López, añade que los valores medidos del peso unitario de los concretos de alta resistencia son ligeramente mayores que los concretos de resistencias menores preparados con los mismos materiales.

1.7.2.5.8. Evolución del calor debido a la hidratación

Rivva López, concluye que la temperatura se eleva en el concreto debido a la hidratación, dependiendo del contenido de cemento, la relación agua/cemento, tamaño del cemento, temperatura ambiente, entorno del elemento. Fredman, ha concluido que la evaluación de calor de los concretos de alta resistencia deberá ser de aproximadamente 6° a 8° por cada 60 Kg/m³ de cemento. Valores de elevación de temperatura 56°C en concretos de alta resistencia que contenían 502 Kg/m³ de cemento han sido medidos en edificios construidos en Chicago.

1.7.2.5.9. Ganancia de la resistencia con la edad

Rivva López, considera que los concretos de alta resistencia muestran una ganancia de resistencia en edades tempranas si se compara con concretos de resistencias menores, pero en el largo plazo la diferencia no es significativa. Parrot, ha reportado relaciones típicas de 7 a 28 días de 0.8 a 0.9 para concretos de alta resistencia y de 0.7 a 0.72 para concretos de resistencias menores.

Carrasquilla, ha encontrado relaciones típicas de 7 a 95 días de 0.60 para bajas resistencias, 0.65 para resistencias medias, y 0.73 para concretos de alta resistencia.

1.7.2.6 Agregados.

1.7.2.6.1. Agregado fino

Rivva López, indica que el agregado fino, al igual que el grueso, debe cumplir con las especificaciones de la Norma ASTM C33 o la Norma NTP 400.037. Su módulo de fineza debe estar entre 2.8 y 3.1. Son recomendables los perfiles redondeados y las texturas suavizadas por requerir menor cantidad de agua de mezclado, siendo por ello preferibles en concretos de alta resistencia.

La óptima gradación del agregado fino para concretos de alta resistencia es determinada más por sus efectos sobre los requerimientos de agua que por sobre sus propiedades de acomodo. Los estudios en USA indican que las arenas con un módulo de fineza por debajo de 2.5 dan al concreto una consistencia pastosa, haciendo difícil su compactación. Se ha encontrado que el agregado fino con un módulo de fineza del orden de 3.0 da las mejores trabajabilidades y resistencias en compresión.

Los concretos de alta resistencia típicos tienen un alto contenido de materiales cementantes finos que la granulometría de los agregados empleados es de importancia relativa si se compara con los concretos convencionales. Sin embargo, puede no ser conveniente incrementar el módulo de fineza; en este sentido la National Crushed Stone ha reportado importantes recomendaciones a fin de reducir los requerimientos de agua; indican que la cantidad que pasa la mallas N° 50 y la N° 100 deberá ser baja, dentro de los valores que indica la Norma ASTM C33, debiendo evitarse la mica y la arcilla, las mezclas con granulometría discontinua presentan resistencias menores que las mezclas estándar.

El agregado fino no debe contener sales, mica o arcilla. La granulometría debe ser continua. Es conveniente limitar los finos a un máximo del 8%.

1.7.2.6.2 Agregado grueso

1.7.2.6.2.1 Aspectos generales.

Rivva López, manifiesta que todos los estudios efectuados han indicado que para una óptima resistencia en compresión con alto contenido de cemento y baja relación agua-cemento, el

tamaño máximo del agregado grueso deberá ser mantenido en un mínimo, entre $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{4}$ ". Tamaños máximos de $\frac{3}{4}$ " y 1" han sido también empleados con éxito. Cordon y Gillespe han encontrado que el incremento de la resistencia es causado por la reducción del esfuerzo de adherencia promedio debido al incremento en el área superficial de los agregados individuales. El investigador Alexander ha encontrado que la adherencia de las partículas de 3" era solamente $\frac{1}{10}$ de la de $\frac{1}{2}$ ". Igualmente llegó a la conclusión que excepto para agregado muy bueno o muy malo la resistencia por adherencia fue del orden del 50% al 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

Asimismo Rivva López, manifiesta que los agregados de tamaño menor son también considerados como adecuados para producir concretos de alta resistencia debido a su menor concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, debido a la diferencia entre el módulo de elasticidad de la pasta y el agregado. El agregado grueso debe provenir de rocas ígneas plutónicas de grano fino con dureza no menor de 7 y una resistencia en compresión no menor del doble de la que se desea alcanzar con el concreto.

De igual manera Rivva López, argumenta que muchos estudios han demostrado que la piedra partida produce más altas resistencias que la grava redondeada. La principal razón para ello es la mayor adherencia mecánica que se puede desarrollar con piedras angulares. Sin embargo, una acentuada angularidad deberá ser evitada dado que requiere mayores contenidos de agua y reduce la trabajabilidad. El agregado grueso ideal debe ser limpio, cubico y angular, 100% partido como mínimo de partículas chatas y elongadas, y con una dureza no menor de 7.

Rivva, menciona que su perfil angular, su textura rugosa, su capacidad de absorción menor del 1% y su peso específico del orden de 2.65, hacen recomendable la caliza triturada debidamente graduada de acuerdo a la Norma.

El tamaño máximo del agregado deberá estar en el orden de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ " con un mínimo de esfuerzos originado por diferencias ente los módulos de elasticidad de la pasta y el agregado.

Los estudios efectuados indican que la piedra partida produce resistencias más altas que grava redondeada. La principal razón para ello es la mayor adherencia mecánica que puede desarrollarse con partículas angulares. Sin embargo, deberá evitarse una acentuada angularidad debido a que ella tiene mayor demanda de agua con la consiguiente reducción en la trabajabilidad. Se considera que para concretos de alta resistencia el agregado ideal

debe ser limpio, cubico, angular, 100% piedra partida, sin partículas chatas y elongadas.

Debido, como ya se ha indicado, a que la resistencia por adherencia es el factor limitante en el desarrollo de los concretos de alta resistencia, la composición mineral de estos deberá ser tal como para proporcionar adherencia química. Es presumible que muchos minerales silicios deban proporcionar una buena adherencia potencial con el Cemento Portland.

1.7.2.6.2.2. Absorción.

Rivva López, indica que el curado es fundamental en la producción de concretos de alta resistencia. Para producir una pasta de cemento con un contenido alto y fuerte, el concreto deberá contener el mínimo de agua de mezclado. Sin embargo, después que el concreto ha sido colocado y la estructura de la pasta se solidifica, se podrá disponer de agua libremente, especialmente en la etapa inicial de hidratación. Durante este periodo una parte importante del agua se combina con el cemento. Esta agua pierde aproximadamente $\frac{1}{4}$ de su volumen después de las reacciones químicas se han completado. Se crea un pequeño vacío capaz de atraer el agua a distancias cortas dentro del concreto, el cual en esta etapa es todavía permeable.

Cualquier agua extra que en esta etapa pueda ingresar a la estructura ha de contribuir a la hidratación y, por lo tanto, aumentar su resistencia. Si el agregado es capaz de absorber una moderada cantidad de agua, ella puede actuar como un reservorio de agua de curado distribuido en el concreto, proporcionando agua de curado adicional con el beneficio consiguiente de las pastas de baja relación agua cemento.

1.7.2.6.2.3. Resistencia intrínseca del agregado

Rivva López, afirma que los concretos de alta resistencia deberán requerir agregados de alta resistencia y, en alguna extensión, ello es obvio. Sin embargo, severas investigaciones han demostrado que, para algunos agregados, un punto es alcanzado más allá del cual los incrementos en el contenido del cemento no producen el correspondiente incremento en la resistencia a la compresión del concreto. Aparentemente ello no es debido a un desarrollo total de la resistencia a la compresión del concreto sino que se ha alcanzado el límite de adherencia de la combinación cemento-agregado. No puede dejar de reiterarse que la dureza del agregado sea 7 o mayor.

1.7.2.7. Ventajas y desventajas del concreto de alta resistencia

1.7.2.7.1. Ventajas

Rivva, precisa que las ventajas son los siguientes:

- Ideal para reducir las dimensiones de elementos verticales y horizontales, lo que se traduce es más área de servicio y un menor peso de los edificios estructuras.
- Alta resistencia a la edad temprana y final.
- Mayor durabilidad, especialmente en estructuras expuestas a la acción del mar.
- Gran resistencia a la tracción, apropiada a la construcción de vigas pretensadas.
- Elementos más esbeltos, permitiendo mayor área de servicio.
- Gran resistencia a compresión por unidad de peso, volumen o costo; importante para la construcción de pilares y columnas en edificios de altura.
- Mejora en la protección a la corrosión del acero de refuerzo.
- Mayor aptitud para su transporte por bombas para las mismas distancias que los concretos tradicionales
- Al obtener mayor resistencia a la compresión del concreto se obtiene un mayor módulo de elasticidad pues ambos están relacionados.
- Muy alta fluidez que hace posible su colocación aún en zonas congestionadas de acero de refuerzo.
- Usado en losas permite remoción temprana del encofrado y eliminación del reapuntalamiento.
- Requiere menos mano de obra de infraestructura en puentes de grandes luces.
- La estructura tiene un menor costo en comparación con otras elaboradas con acero.

1.7.2.7.2. Desventajas

Así mismo Rivva, menciona las desventajas siguientes:

- Necesidad de materiales y componentes de alta calidad

- Control de calidad muy exigente.
- Riguroso cuidado en el curado porque posee relaciones agua/cemento bajas.
- Rotura frágil.
- Personal profesional y operarios de altas calificaciones
- Supervisión permanente.

1.7.2.8. Métodos

Efraín Esteban, manifiesta que etimológicamente la palabra método proviene del griego *methodos* que significa camino hacia algo. En ese sentido, el método consiste en el camino que permite lograr un objetivo, alcanzar una meta.

1.7.2.8.1. Principales métodos

Efraín Esteban, considera los siguientes métodos de investigación:

A. Método Deductivo.

Esteban, considera que el método deductivo consiste en el estudio, en la investigación de la realidad, partiendo de lo general avanza hacia lo particular; es decir, que a partir de los conocimientos generales, de los principios generales estudia los hechos o fenómenos particulares.

B. Método Inductivo.

Para Esteban, el método inductivo consiste en el estudio de la realidad de lo particular a lo general, es decir que a partir de la investigación de hechos o fenómenos particulares avanza hacia las generalizaciones.

C. Método Experimental.

El método experimental según Esteban, se basa en la utilización de los experimentos para la obtención de conocimientos, utilizando grupos experimentales. El método experimental consiste en organizar deliberadamente condiciones de acuerdo con un plan previo con el fin de investigar las posibles relaciones causa – efecto exponiendo a uno o más grupos.

D. Método de la Abstracción Científica.

Según Esteban, la palabra abstracción proviene del latín *abstractio*, que significa aislamiento, separación. La abstracción consiste en la separación mental de los elementos

de un objeto o fenómeno estudiado, con la finalidad de determinar aquellos que son fundamentales y precisar las relaciones que se dan entre ellos.

E. Método Histórico.

El método histórico para Esteban, consiste en el estudio de la realidad a partir del análisis de la sucesión de hechos o fenómenos que se dan en determinados periodos históricos o etapas de desarrollo. El método histórico toma muy en cuenta el análisis de los antecedentes, las causas y consecuencias de esos hechos o fenómenos. Su utilización se da principalmente en el campo de las ciencias sociales.

F. Método Dialéctico.

Para Esteban, es el método más completo, más general, puesto que no solo asimila todo lo planteado por los métodos anteriores, sino que también aporta el suyo, para hacerlo más consistente, más científico. El método dialéctico busca el conocimiento de los hechos o fenómenos hasta descubrir su esencia, sus aspectos fundamentales.

G. Método Observacional.

José Salinas, postula que es aquella que se basa en la observación de los fenómenos, características, situaciones, variaciones, etc.; del asunto que se quiere investigar. Solo se observa sin manipular ni cambiar nada, las observaciones hechas se pueden registrar para posterior análisis.

H. Método Explicativo.

José Salinas, manifiesta que es aquella que trata de analizar y/o explicar las causas de los efectos estudiados, es decir, no solo describe la situación, fenómeno, característica, relación entre causa efecto, etc., tal como lo hace la investigación descriptiva, sino que analiza y/o explica el porqué de los asuntos investigados.

I. Método Descriptivo.

Para José Salinas, es aquella que se refiere a la descripción de algún objeto, sujeto, fenómeno, etc., en total o parte del mismo, se especifica las características más importantes de persona o grupos, fenómenos que sean sometidos a análisis.

1.7.2.9. Técnica estadística de validación de resultados

1.7.2.9.1. Contraste de hipótesis

García Torres, manifiesta que la verificación de hipótesis corresponde a la parte práctica del trabajo de investigación. En ciencias naturales se conoce como resultados y análisis de resultados.

Esteban Churampi, señala que la hipótesis y la verificación de hipótesis deciden la calidad de un trabajo de investigación.

1.7.2.9.2. ¿Qué es una hipótesis?

Esteban Churampi, considera que la hipótesis es una proposición, con cierto nivel de rigor científico, verificable en el proceso de investigación. La hipótesis se expresa a través de variables, tratando de explicar el problema de investigación; por eso es la relación entre variables, la construcción de variables. La hipótesis son proposiciones tentativas acerca de las relaciones entre dos o más variables.

García Torres, señala que, una hipótesis es una afirmación (matemáticamente, una **expresión lógica**) sobre parámetros o sobre la distribución de una población. El método de contraste de hipótesis tiene como objetivo rechazar o aceptar hipótesis, de acuerdo a técnicas estadísticas aplicadas sobre las muestras o las propiedades de la población disponibles.

Si la hipótesis es una afirmación sobre el valor de un parámetro estadístico de la variable aleatoria en estudio, tenemos un **test paramétrico**. En caso contrario se habla de **test no paramétrico**.

1.7.2.9.3. La lógica del contraste de hipótesis

García Torres, añade que lo esencial del contraste de hipótesis es la comparación de la hipótesis estudiada con la evidencia obtenida de la muestra (o muestras). Se utilizan técnicas estadísticas para hacer esta comparación, llegando a dos situaciones:

- Si los datos de la muestra no contradicen la hipótesis, se sigue sosteniendo la hipótesis.
- Si los datos de la muestra contradicen la hipótesis, se rechaza ésta, y se sostiene la validez de la hipótesis contraria (o alternativa).

Desde el punto de vista del conocimiento (*epistemológico*), cuando los datos de la muestra no contradicen la hipótesis **no podemos afirmar con total garantía que la hipótesis es**

cierta. Por ejemplo, podría suceder que tomásemos otra muestra y ésta segunda sí que entre en contradicción con la hipótesis. Por lo tanto, la hipótesis es siempre provisional.

Pero la cosa cambia si se mira de la otra forma. Si encontramos que la muestra contradice la hipótesis, podemos considerarla falsa (y por tanto es cierta la alternativa). No obstante, en ambos casos la "contradicción" que los datos pueden dar lugar respecto a la hipótesis es una cuestión de probabilidad. Por ello, la certeza en el contraste de hipótesis es siempre probabilista, y se basa en el concepto de nivel de significación.

1.7.2.9.4 Método general

García Torres, señala que el **contraste de hipótesis** es una técnica o procedimiento que nos permite determinar si las muestras observadas difieren significativamente de la hipótesis planteada. Dependiendo de la magnitud de esa diferencia, se rechazará la hipótesis planteada o se considerará cierta.

Desde el punto de vista de la lógica científica, si damos por cierta la hipótesis tras el contraste, esta siempre es una certeza provisional, ya que siempre cabe la posibilidad de que al observar otra muestra en el futuro, la diferencia sea tan grande como para rechazar la hipótesis que provisionalmente se había dado por válida.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (y en consecuencia, de la alternativa)

El contraste de hipótesis comienza por el planteamiento de la hipótesis nula, denominada H_0 . Una vez definida la hipótesis nula, se define la **hipótesis alternativa**, denominada H_1 .

Las dos hipótesis son complementarias (contrarias) y entre las dos deben cubrir todas las posibilidades. En otras palabras, si una de ellas es cierta, forzosamente la otra tiene que ser falsa

Nota: En la hipótesis nula H_0 cuando se comprueban valores, siempre tiene que figurar la igualdad en la comparación, debido al tipo de técnica matemática utilizada, ya que es la afirmación concreta que se somete a contraste

Paso 2: Prueba, contraste o test sobre la hipótesis nula

Consiste en partir de las suposición de que la hipótesis nula es cierta, tomar y analizar las

muestras y comparar si el resultado empírico de los datos es compatible o coherente o no con la hipótesis nula de partida.

Para ello se recurre a un **estadístico de contraste**. Un estadístico es siempre función de una muestra. Por ejemplo, si nuestra hipótesis es una afirmación sobre la media poblacional tal como $H_0 = \mu \leq 45$, entonces el estadístico de contraste que parece lógico utilizar es la media muestral \bar{x} . El estadístico de contraste debe poseer dos características:

- Proporciona información empírica relevante a la hipótesis nula.
- Posee una distribución muestral conocida.

Todo estadístico - como la media muestral - es en sí una variable aleatoria que sigue una determinada *distribución muestral*. Sobre esa distribución muestral se hará realmente el contraste.

1.7.2.9.5. Contraste sobre la distribución muestral

García Torres, señala que para proceder al contraste se divide la distribución muestral en dos regiones:

- Región de rechazo (crítica). Zona de valores del estadístico de contraste que están *tan alejados* de H_0 que es muy poco probable que ocurren si ésta es verdadera.
- Región de aceptación. Resto de los valores, que se consideran próximos en cierto grado a H_0 .

Para definir la región crítica, se utiliza un **nivel de significación** α (que típicamente toma valores 0.10, 0.05 ó 0.01). Si la compatibilidad de la muestra con H_0 es menor que α , llegamos a una **contradicción**, y la conclusión es que la hipótesis de partida es falsa.

1.7.2.9.6. Tipos de errores en el contraste de hipótesis

García Torres, agrega que todo contraste de hipótesis termina con una decisión de aceptar o rechazar H_0 . Al tomar esa decisión, siempre se corre el riesgo de caer en el error, aunque la probabilidad de hacerlo sea pequeña. Es importante entender dos tipos de errores que pueden darse:

1. Si se rechazó H_0 y ésta es realmente cierta, se hizo por contraste utilizando un nivel de significación α , es decir, la probabilidad de este error es α .

2. Este es un valor conocido en el propio test de hipótesis, y se denomina **error de tipo I**.
3. Si se aceptó H_0 y ésta es realmente falsa, se hizo con una probabilidad que no conocemos por el propio contraste y que llamaremos β .

El error de tipo II depende de varios factores:

La verdadera H_1

El valor de α . El tamaño de la desviación típica de la distribución muestral (del estadístico de contraste).

Tabla 2

Tipos de errores en el contraste

	H0 es cierta	H1 es cierta
Aceptada H_0	No hay error	Error de tipo II
Aceptada H_1	Error de tipo I	No hay error

Fuente: Tesis Mario García Torres

1.7.2.9.7. Distribución t de Student.

En Wikipedia, se puede encontrar que en probabilidad y estadística, la distribución t (de Student) es una distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Aparece de manera natural al realizar la prueba t de Student para la determinación de las diferencias entre dos medias muestrales y para la construcción del intervalo de confianza para la diferencia entre las medias de dos poblaciones cuando se desconoce la desviación típica de una población y ésta debe ser estimada a partir de los datos de una muestra.

Para realizar el análisis de t de Student entre dos muestras se aplican las siguientes formulas:

$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_a^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \dots\dots\dots (1)$$

$$S_a^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

\bar{X}_1 y \bar{X}_2 Son las medias muestrales correspondientes a los dos grupos.

n_1 y n_2 Son los tamaños de las muestras correspondientes a los dos grupos.

S_a^2 Es un promedio ponderado de las varianzas muestrales.

$\sigma_{\bar{x}}$ Es el error típico de la diferencia de medias.

1.7.2.9.8. Desviación estándar

En Wikipedia, se puede encontrar que la desviación típica o desviación estándar (denotada con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones.

Calderón, señala que se caracteriza por ser el estadígrafo de mayor uso en la actualidad. Se obtiene mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

S: desviación estándar

n: número de ensayo de la serie

x_i : resultados de resistencias de muestras de ensayos individuales

\bar{X} : Promedio de todos los ensayos individuales de una serie.

1.7.2.9.9. Coeficiente de variación

En Wikipedia, manifiesta que el coeficiente de variación (de Pearson), es una medida de dispersión útil para comparar dispersiones a escalas distintas pues es una medida invariante ante cambios de escala. Sirve para comparar variables que están a distintas escalas pero que están correlacionadas estadísticamente y sustantivamente con un factor en común.

Es decir, ambas variables tienen una relación causal con ese factor.

Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar.

$$V = \frac{S}{\bar{X}} * 100\% \dots \dots \dots (5)$$

V: Coeficiente de variación

S: desviación estándar

\bar{X} : Media aritmética

1.7.2.9.10. Análisis de varianza

Abraira y Pérez, consideran que el análisis de la varianza (o Anova: Analysis of variance) es un método para comparar dos o más medias, que es necesario porque cuando se quiere comparar más de dos medias es incorrecto utilizar repetidamente el contraste basado en la t de Student por dos motivos:

En primer lugar, y como se realizarían simultánea e independientemente varios contrastes de hipótesis, la probabilidad de encontrar alguno significativo por azar aumentaría. En cada contraste se rechaza la H_0 si la t supera el nivel crítico, para lo que, en la hipótesis nula, hay una probabilidad a . Si se realizan m contrastes independientes, la probabilidad de que, en la hipótesis nula, ningún estadístico supere el valor crítico es $(1 - a)^m$, por lo tanto, la probabilidad de que alguno lo supere es $1 - (1 - a)^m$, que para valores de a próximos a 0 es aproximadamente igual a m .

Una primera solución, denominada *método de Bonferroni*, consiste en bajar el valor de a , usando en su lugar a/m , aunque resulta un método muy conservador.

Por otro lado, en cada comparación la hipótesis nula es que las dos muestras provienen de la misma población, por lo tanto, cuando se hayan realizado todas las comparaciones, la

hipótesis nula es que todas las muestras provienen de la misma población y, sin embargo, para cada comparación, la estimación de la varianza necesaria para el contraste es distinta, pues se ha hecho en base a muestras distintas.

El método que resuelve ambos problemas es el anova, aunque es algo más que esto: es un método que permite comparar varias medias en diversas situaciones; muy ligado, por tanto, al diseño de experimentos y, de alguna manera, es la base del análisis multivariante.

1.7.2.9.11. Grado de libertad

García Torres, manifiesta que en estadística, **grados de libertad** es un estimador del número de categorías independientes en una prueba particular o experimento estadístico. Se encuentran mediante la fórmula $n - r$, donde n =número de sujetos en la muestra (también pueden ser representados por $k - r$, donde k =número de grupos, cuando se realizan operaciones con grupos y no con sujetos individuales) y r es el número de sujetos o grupos estadísticamente dependientes.

Cuando se trata de eliminar los estadísticos con un conjunto de datos, los residuos - expresados en forma de vector- se encuentran habitualmente en un espacio de menor dimensión que aquél en el que se encontraban los datos originales. Los grados de libertad del error los determina, precisamente, el valor de esta menor dimensión.

Un ejemplo aclara el concepto. Supongamos que

X_1, \dots, X_n son variables aleatorias, cada una de ellas con media μ , y que

$$\bar{X}_n = \frac{X_1 + \dots + X_n}{n} \dots\dots\dots(6)$$

es la "media muestral". Entonces las cantidades

$$X_i - \bar{X}_n$$

son los residuos, que pueden ser considerados estimaciones de los errores $X_i - \mu$. La suma de los residuos (a diferencia de la suma de los errores, que no es conocida) es necesariamente 0,

$$\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n) = \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n X_i = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

Ya que existen variables con valores superiores e inferiores a la media muestral. Esto también significa que los residuos están restringidos a encontrarse en un espacio de dimensión $n - 1$ (en este ejemplo, en el caso general a $n - r$) ya que, si se conoce el valor de $n - 1$ de estos residuos, la determinación del valor del residuo restante es inmediata. Así, se dice que "el error tiene $n - 1$ grados de libertad" (el error tiene $n - r$ grados de libertad para el caso general); de donde:

$$gl = n - 1 \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

gl= Grados de Libertad.

n = Tamaño de la muestra.

1.7.2.9.12. Suma de cuadrados

García Torres, señala que la suma de cuadrados en el ANOVA de un factor o vía de efectos fijos. La variabilidad observada en los datos es debida a la naturaleza propia de las variables o medidas que analizamos, pero también es imputable a los niveles o tratamientos en el caso que afecten de manera desigual a la variable respuesta. El análisis de la varianza permite considerar herramientas (estadísticos) que separan la variabilidad debida al azar de la variabilidad imputable a los tratamientos o niveles. Estos estadísticos se definen a partir de las variables que configuran las $N=n_1+n_2+\dots+n_k$ observaciones

Por simplificar la notación supondremos que estamos ante un diseño balanceado o equilibrado, es decir $n_1=n_2=\dots=n_k=n$; que es el recomendable, por otra parte, en tanto que es menos sensible a pequeñas desviaciones de la normalidad y de la homocedasticidad (los supuestos básicos del ANOVA). Una medida de la variabilidad total de los datos es la suma de cuadrados total, designada por SST:

$$SST = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$$

donde

es decir la media muestral de todas las observaciones.

$$\bar{Y}_{..} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ij}}{nk} ,$$

La suma de cuadrados total, en tanto que medida de variabilidad total, se descompone de la forma siguiente:

$$\begin{aligned}
 SST &= SSA + SSE, \text{ donde} \\
 SSA &= n \sum_{i=1}^k (\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..})^2, \text{ suma de cuadrados de tratamientos,} \\
 SSE &= \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2, \text{ suma de cuadrados del error, y} \\
 \bar{Y}_i &= \sum_{j=1}^n \frac{Y_{ij}}{n}, \text{ media muestral de las datos del } i\text{-ésimo nivel.}
 \end{aligned}$$

SSA es una medida de la variabilidad entre las medias muestrales de las observaciones de cada tratamiento.

SSE es una medida de la variabilidad de las observaciones respecto a la media muestral a la que pertenecen.

1.7.2.9.13. Cuadrados medios

Di Rienzo, considera: si $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$ es muestra obtenida bajo el tratamiento i -ésimo y se tienen muestras para a tratamientos, entonces, si σ^2 representa la varianza de la distribución bajo cualquier tratamiento, se llamará Cuadrado Medio Dentro (CMD) al promedio ponderado de las a varianzas estimadas en cada tratamiento.

$$CMD = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + \dots + (n_a - 1)S_a^2}{(n_1 - 1) + \dots + (n_a - 1)} \dots\dots\dots (9)$$

Se puede probar que el Cuadrado Medio Dentro es un estimador insesgado de σ^2 , es decir $E(CMD) = \sigma^2$

El nombre Cuadrado Medio Dentro proviene del hecho que es un promedio de magnitudes cuadráticas. Este ofrece una medida de la variabilidad promedio que hay dentro de cada tratamiento y mide la variabilidad de unidades experimentales tratadas de la misma forma (error experimental), por ello también se suele llamar cuadrado medio del error.

1.7.3 Marco conceptual: terminología básica

1.7.3.1. Concreto de Buena Calidad

El A.C.I. 214.14, define a un concreto de Buena Calidad como aquel que alcanza una resistencia igual o mayor a las especificadas a los criterios establecidos de la norma ,

usualmente estos concretos son considerados como de alto desempeño, sin embargo para cumplir esta condición deben pasar además otras características como son una adecuada trabajabilidad y durabilidad.

2.5.3.2. Cemento

Rivva López, señala que el cemento es un material pulverizado que, cuando es combinado con el agua, forma una pasta capaz de endurecer tanto bajo como fuera del aire.

1.7.3.3. Cemento Portland

Abanto Castillo, lo considera un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales minerales, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida.

1.7.3.4. Agua

Abanto Castillo, indica que el agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido.

1.7.3.5. Concreto

Del Reglamento Nacional de Edificaciones, es la mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos.

1.7.3.6. Agregado

En la Revista del Ingeniero Civil (2010), indica que en general los agregados, tanto finos como gruesos, deben cumplir como mínimo los requerimientos de las Normas respectivas NTP 40037 (AST-MCI11), las características que más coinciden en los concretos de alta resistencia y con los que debemos ser muy exigentes son la granulometría y la calidad propia del agregado (caso del agregado grueso básicamente).

1.7.3.7. Aditivo

Morataya, lo define como compuesto químico que se agrega al concreto al momento del mezclado, para mejorar sus características y cualidades.

1.7.3.8. Humo de sílice

García Torres, lo define como un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo, de elevada pureza, con carbón en hornos eléctricos de arco para la producción de silicio y ferrosilicio. Se utiliza como adiciones para hormigón de alta resistencia.

1.7.3.9. Microsílice

Rivva López, lo define como una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de fabricación de silicio metálico o ferro silicio.

1.7.3.10. Superplastificante

Rivva López, señala que son aditivos derivados de los formaldeidos melanina o naftaleno que tienen la propiedad de darle a la mezcla una gran plasticidad al liberar el agua sujeta a los otros materiales integrantes de ella.

1.7.3.11. Granulometría

Pineda, define por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica se mide de forma indirecta haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices o cedazos de diferentes aberturas calibradas, que son ordenados de mayor a menor abertura.

1.7.3.12. Exudación

Abanto Castillo, sostiene que es el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado.

1.7.3.13. Segregación

Aybar de la Torre, indica que esta propiedad del concreto fresco, implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero.

1.7.3.14. Fraguado

García Torres, sostiene que fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y

recristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que compone el cemento.

1.7.3.15. Curado

Abanto castillo, considera que es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento).

1.7.3.16. Absorción

Aybar de la Torre, manifiesta que la absorción es la cantidad de agua que puede absorber un agregado, expresado en porcentaje.

1.7.3.17. Trabajabilidad

Abanto Castillo, lo sostiene como la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

1.7.3.18. Peso Unitario

Aybar de la Torre, indica que es el peso varillado por unidad de volumen de una muestra representativa de un concreto. Se expresa en kg/m^3 .

1.7.3.19. Resistencia a la Compresión ($f'c$).

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

1.7.3.20. Tamaño Máximo (TM).

La Norma NTP 400.037, define al "*Tamaño Máximo*" como a aquel que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

1.7.3.21. Tamaño Máximo Nominal (TMN).

La Norma NTP 400.037, define al "*Tamaño Máximo Nominal*" como a aquel que corresponde el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

1.7.4. Marco histórico

El desarrollo de los denominados “Diseños de Mezclas de Concreto” ha sido gradual a lo largo de las diferentes épocas y etapas de la evolución del concreto. Como ésta continua, la definición de alta resistencia se ha ido modificando.

Así, en la década de los 50, los concretos con una resistencia en compresión de 350 Kg/cm^2 a los 28 días eran considerados como de alta resistencia. En la década de los 60 se empleó comercialmente, en Estados Unidos y Japón, concretos con resistencias a la compresión de 500 Kg/cm^2 a los 28 días.

En la década de los 70 ya se utilizan en forma comercial concretos del orden de 600 Kg/cm^2 como resistencia a la compresión a los 28 días. Para el año 2,000 ya se utiliza para concretos vaciados en sitio concretos con resistencias en compresión a los 54 días del orden de 1400 Kg/cm^2 .

Por muchos años, concretos con resistencias en compresión en exceso de 400 Kg/cm^2 a los 28 días son disponible sólo en muy pocas localidades. Lentamente pero en forma continua se va ampliando el valor de la resistencia y se incrementa la aplicación de los llamados “concretos de alta resistencia” y, en la actualidad, se utilizan en muchas partes del mundo .En el Perú ya se producen a nivel de laboratorio concretos con resistencias de 1200 Kg/cm^2 a los 54 días y, en obra, normalmente concretos de más de 700 Kg/cm^2 .

Este crecimiento ha sido posible como resultado del notable desarrollo de la tecnología de los materiales, especialmente adiciones y aditivos, y de las investigaciones del laboratorio orientadas a satisfacer la demanda de los profesionales por concretos de resistencias cada vez mayores. La construcción de muchas importantes edificaciones, tales como el Chicago Water Tower Place, o el puente East Huntington, no hubiese sido posible sin la disponibilidad de concretos de alta resistencia.

Desde que el concepto de concretos de alta resistencia ha ido cambiando con los años, el Comité 363 del American Concrete Instituto se ha visto en la necesidad de definir los límites dentro de los cuales se puede considerar a un concreto con el criterio de alta resistencia.

Sin embargo la realidad ha sobrepasado a la definición y la oficial de 1992 ha quedado obsoleta muy rápidamente a la definición.

El Comité indica que la palabra “*exótico*” ha sido incluida en la definición dado que no es función del Comité tratar aspectos referentes a concretos impregnados con polímeros; concretos epóxidos; o concretos preparados con agregados artificiales normales o pesados.

1.8. Hipótesis a demostrar

¿Sera factible alcanzar una mayor resistencia del Concreto 210 Kg/cm² adicionando fibra de vidrio utilizando agregados del Rio Huallaga y disminuir el costo del Concreto por m³?

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materiales

2.1.1. Cemento

Para la presente investigación se ha utilizado Cemento Portland Tipo IP, marca PACASMAYO con peso específico 3.11 g/cm³.

Tabla 3

Peso específico de los cementos gr/cm³

Cemento	Específico
Yura Tipo IP	3.15
Yura Tipo IP	2.86
Yura Tipo IPM	2.95
Pacasmayo Tipo I	3.11
Sol Tipo I	3.11
Andino Tipo I	3.11
Andino Tipo II	3.18
Andino Tipo V	3.11
Atlas Tipo IP	3.03

2.1.2. Agregado Fino

El agregado fino utilizado para la presente investigación fue extraído de la cantera del Rio Huallaga, con las características de la tabla 4.

2.1.3. Agregado Grueso

Se utilizaron los agregados provenientes del Rio Huallaga, el tamaño estándar del agregado grueso se ciñe a la gradación (ASTM C 33-83). Y éstos presentan características de la tabla 4.

Tabla 4

Características de los agregados

DESCRIPCION	UNIDAD	CEMENTO	AGREGADOS		
			FINO	GRUESO	
Descripción		TIPO (Pacasmayo)	I	-	-
Tamaño Máximo Nominal	pulg	-	Nº4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cc	-	2.58	2.67	
Peso Unitario Suelto (seco)	kg/m3	-	1450.00	1490.00	
Peso Unitario Compactado (seco)	kg/m3	-	1610.00	1567.00	
Contenido de humedad	%	-	1.27	0.20	
Absorción	%	-	1.01	0.78	
Módulo de fineza		-	2.40	-	

Fuente: Elaboración Propia

2.1.4 Fibra de Vidrio

Según Gowri y Angeline (2013) indica que con 0.025%, 0.05% y 0.075% de fibra de vidrio incorporada al concreto la resistencia a compresión se incrementa desde 5.15% hasta 15.68%, además, con cantidades mínimas se puede llegar a mejorar la resistencia a compresión Castiblanco y Carrero (2015), de la misma manera Zapata y Arango (2013) indican que con incorporación de fibras de vidrio mayores a 1% la resistencia disminuye.

Por lo que los porcentajes adoptados de la fibra de vidrio que se consideraron en la presente investigación son 0.025%, 0.075% y 0.125% con respecto al peso de los materiales, los cuales fueron determinados de acuerdo a las conclusiones y recomendaciones de los antecedentes de investigación.

2.1.5 Agua

Se usó agua potable de la Ciudad de Tarapoto.

2.2 Diseño de Mezclas del Concreto

El diseño de mezclas se ha realizado por el método del Comité 211 del ACI, este método desarrolla un procedimiento de diseño de mezclas basadas en algunas tablas, las mismas que permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica del concreto. La resistencia a la compresión de diseño se plantea 210 kg/cm² (a los 28 días), puesto que ésta es considerada como la resistencia mínima en elementos estructurales.

2.2.2. Diseño de Mezcla $f'c$ 210 kg/cm² – Método: Comité 211 del ACI

A continuación, se presenta la secuencia del diseño de mezcla del concreto patrón (Concreto Patrón - CP).

a) Cálculo de la resistencia promedio

En el caso de contar con un registro de ensayos de resistencia en compresión, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores obtenidos a partir de la solución de las siguientes ecuaciones:

$$f'cr = f'c + 1.34 s$$

$$f'cr = f'c + 2.33 s - 35$$

Donde:

$f'c$: Resistencia en compresión especificada del concreto.

$f'cr$: Resistencia en compresión promedio requerida.

s : Desviación estándar

Puesto que no se cuenta con registros anteriores de desviación estándar, para el cálculo de la resistencia promedio se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 5

Resistencia promedio

$F'c$	$F'cr$
menos de 210	$F'c + 70$
210 a 350	$F'c + 84$
sobre 350	$F'c + 98$

Fuente: Enrique Riva López, “Diseño de mezclas”. Pág. 46.

Por lo tanto para una resistencia de diseño de 210 kg/cm², se considera el factor de 84 kg/cm², obteniendo una resistencia promedio de 294 kg/cm².

b) Tamaño máximo nominal del agregado

La Norma E.060 (2017) de concreto armado recomienda que el tamaño máximo nominal del agregado grueso, en ningún caso excederá los siguientes valores:

- 1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados.
- 1/3 del peralte de las losas.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras de refuerzo.

Por otro lado, Montejo (2013), indica que la elección del TMN puede no estar limitada por la dimensión mínima del elemento a construir, sino de otros factores como el equipo disponible para mezclar o el método de colocación del concreto requerido, y cuando se trate de concreto bombeado recomienda el uso de agregados cuyo TMN varía entre 19mm (3/4") y 37.5 mm (1 1/2"). Por lo que, el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso considerado para la presente investigación es de 3/4", siendo el tamaño máximo 1".

c) Selección del asentamiento

Se ha considerado realizar el diseño de mezcla con una consistencia plástica con el fin de garantizar la trabajabilidad del concreto, teniéndose un revenimiento de 3" a 4".

d) Volumen unitario de agua

Para la determinación del volumen unitario de agua, se ha considerado la siguiente tabla establecida por el ACI 211:

Tabla 6

Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incluido								
1" a 2"	250	200	185	180	160	155	145	125
3" a 4"	225	215	205	195	175	170	160	140
6" a 7"	240	230	210	205	185	180	170	-

Fuente: Enrique Riva Lopez, "Diseño de mezclas". Pág. 58.

Por lo tanto, para una mezcla de consistencia plástica (revenimiento de 3" a 4"), y de tamaño máximo nominal de 3/4", se tiene un volumen unitario de 205 l/m³.

e) Selección del contenido de aire

Puesto que no ha sido considerado la incorporación de aire en el diseño, se procede a obtener el porcentaje de aire atrapado, según la siguiente tabla:

Tabla 7*Volumen unitario de aire*

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Enrique Riva Lopez, "Diseño de mezclas". Pág. 62.

Por lo tanto para un tamaño máximo nominal de 3/4", se tiene 2.0% de aire atrapado en la mezcla.

f) Selección de la relación agua/cemento por resistencia

Para obtener la relación agua/cemento cuando el agregado está en condición saturado superficialmente seco, se tomaron en cuenta los criterios de selección por resistencia, usando la tabla 5, considerando que la resistencia a compresión media del concreto es 294 kg/cm² y que no tiene aire incorporado

Tabla 8*Selección de la relación agua/cemento por resistencia*

f'_{cr} (28 días)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	...
450	0,38	...

Fuente: Rivva López, Diseño de Mezclas (2014)

Con los dos valores obtenidos, se realizó una interpolación con la siguiente fórmula:

$$\frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_1} = \frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1}$$

$$y_2 - y_1 = \left(\frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1} \right) \times (y_3 - y_1)$$

$$y_2 = y_1 + \left(\left(\frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1} \right) \times (y_3 - y_1) \right)$$

Donde:

Tabla 9

Valor para interpolación

$x_1 = 300$	$y_1 = 0.55$
$x_2 = 294$	$y_2 = \text{Relación} \frac{A}{C} \text{ para } f'_{cr} 294 \frac{kg}{cm^2}$
$x_3 = 250$	$y_3 = 0.62$

Fuente: Elaboración propia

$$\text{Relación} = \frac{A}{C} \text{ para } f'_{cr} 294 \frac{kg}{cm^2} = 0.55 + \left(\frac{(294 - 300)}{(250 - 300)} \right) \times (0.62 - 0.55)$$

$$\text{Relación} = \frac{A}{C} \text{ para } f'_{cr} 294 \frac{kg}{cm^2} = 0.56$$

g) Factor cemento

Determinamos el factor cemento por la siguiente expresión:

$$\text{Factor Cemento} = \frac{\text{Volumen unitario de agua}}{\text{Relación agua/cemento}}$$

$$\text{Factor Cemento} = \frac{205 \text{ lt/m}^3}{0.56}$$

$$\text{Factor Cemento} = 366.00 \text{ kg/m}^3$$

h) **Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso**

Volumen absoluto de:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Factor Cemento}}{\text{P.e. del cemento}} = \frac{366.00 \text{ kg}}{3110 \text{ kg/m}^3} = 0.118 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{\text{Vol. unit. agua}}{\text{P.e. del agua}} = \frac{205 \text{ l}}{1000 \text{ l/m}^3} = 0.205 \text{ m}^3$$

Volúmenes Absoluto de la Pasta

Cemento	0.118 m ³
Agua	0.205 m ³
Aire	0.020 m ³
Suma de Volúmenes conocidos	0.343 m³

Volumen de los agregados

$$1 - 0.343 = 0.657 \text{ M}^3$$

$$0.657 * 0.50 = 0.328 \text{ M}^3$$

Volúmenes Absolutos

Cemento	0.118 m ³
Agua	0.205 m ³
Aire	0.020 m ³
Agregado Grueso	0.328 m ³
Suma de Vol. Conocidos	0.671 m³

i) **Selección del contenido de agregado grueso**

La selección del contenido del agregado grueso, se determina mediante la siguiente tabla que está en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de finura del agregado fino. Obteniéndose de esta tabla el coeficiente b/b_0 resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cúbica del concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso, expresado en Kg/m³.

Tabla 10

Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

		Volumen de Agregado grueso, seco y compactado,			
Tamaño nominal	Máximo	por unidad de volumen del concreto, para diversos			
del Agregado Grueso		módulos de finura del fino (b/b ₀)			
		2.40	2.60	2.80	3.00
	3/8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
	1/2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
	3/4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
	1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
	1 1/2 "	0.75	0.73	0.71	0.69
	2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
	3 "	0.82	0.79	0.78	0.75
	6 "	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Enrique Riva López, "diseño de mezclas" pag. 121.

Con un módulo de finura de 2.40 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de ¾" se encuentra un valor de $b/b_0 = 0.66$ metros cúbicos de agregado grueso seco compactado por unidad de volumen de concreto. Por lo tanto, se tiene que:

$$\text{Peso del Agregado Grueso seco y compactado} = (0.66 \times 1567) = 1034.22 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = \text{Vol. del agr. Grueso} * \text{peso específico}$$

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = 0.328 * 2670 = 877.00 \text{ Kg/m}^3$$

j) Cálculo del contenido de agregado fino

El Volumen absoluto del agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

$$\text{Vol. absoluto de agregado fino} = \text{Vol. total (1)} - \text{Vol. absoluto conocido}$$

$$\text{Vol. absoluto de agregado fino} = 1 - 0.671 = 0.329 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.329 \text{ m}^3 \times 2580 \text{ kg/m}^3 = 849.00 \text{ kg/m}^3$$

k) Valores de Diseño

Las cantidades recomendadas de materiales a ser empleadas como valores de diseño serán:

Tabla 11*Valores de diseños*

Materiales	En peso (kg/m3)
Cemento	366.00
Agregado fino seco	863.00
Agregado grueso seco	863.00
Agua	205.00
Total	2297.00

Fuente: Elaboración propia

1) Corrección por humedad del agregado

Una vez obtenido los valores de diseño en proporciones secas, estas deben ser corregidas en función de las condiciones de humedad de los agregados fino y grueso, a fin de obtener los valores a ser utilizados en obra.

Tabla 12*Diseño final de la mezcla*

CALCULO DE PESO DE AGUA FINAL							
Corrección por humedad y absorción							
	humedad	absorción	pesará	balance de agua	contribución de agua		
Piedra Húmeda	0.20 %	0.78 %	863.00 kg.	-0.0058	-5.00 kg		
Arena Húmeda	1.27 %	1.01 %	863.00 kg.	0.0026	2.20 kg		
Agua Final:	207.80 kg.						

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO DE MEZCLA FINAL				
Materiales	Pesos secos (kg/m3)	% w	% a	Pesos corregidos (kg/m3)
Cemento	366.07			366.07
Agregado fino seco	863.00	1.27%	1.01%	798.00
Agregado grueso seco	863.00	0.20%	0.78%	863.00
Agua	205.00			231.14

Se ha considerado la dosificación en peso con fines de eliminar posibles errores en medición. Además, las correcciones por humedad fueron consideradas para cada fecha de elaboración

de concreto.

2.3. Proporciones de la Mezcla

Culminado el diseño paso a paso y obtenidas las dosificaciones, calculamos en peso todos los materiales necesarios para una tanda de concreto para la elaboración de los especímenes cilíndricos de 6" x 12", para ser sometidos a los ensayos de compresión.

La incorporación de fibras de vidrio se realizó en 0.025%, 0.075% y 0.125% respecto al peso de los materiales. Los cuales representan, conforme a las siguientes tablas:

Tabla 13

Diseño de Mezcla para Concreto Patrón (CP). Resistencia 210 Kg/cm².

Materiales	Pesos secos (kg/m ³)	% en peso
Cemento	366.00	16.38%
Agregado fino seco	798.00	35.70%
Agregado grueso seco	863.00	38.62%
Agua	207.80	9.30%
Total	2234.80	100.00%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14

Diseño de Mezcla para Concreto Experimental 1 (CE 1). Resistencia 210 Kg/cm².

Materiales	Pesos secos (kg/m ³)	% en peso
Cemento	365.44	16.355%
Agregado fino seco	798.00	35.70%
Agregado grueso seco	863.00	38.62%
Agua	207.80	9.30%
Fibra de Vidrio	0.56	0.025%
Total	2234.80	100.00%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15

Diseño de Mezcla para Concreto Experimental 2 (CE 2). Resistencia 210 Kg/cm².

Materiales	Pesos secos (kg/m³)	% en peso
Cemento	364.32	16.305%
Agregado fino seco	798.00	35.70%
Agregado grueso seco	863.00	38.62%
Agua	207.80	9.30%
Fibra de Vidrio	1.68	0.075%
Total	2234.80	100.000%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16

Diseño de Mezcla para Concreto Experimental 3 (CE 3). Resistencia 210 Kg/cm².

Materiales	Pesos secos (kg/m³)	% en peso
Cemento	363.21	16.255%
Agregado fino seco	798.00	35.70%
Agregado grueso seco	863.00	38.62%
Agua	207.80	9.30%
Fibra de Vidrio	2.79	0.125%
Total	2234.80	100.000%

Fuente: Elaboración Propia

2.4. Elaboración del concreto

Una vez obtenido el diseño de mezcla, se procedió a la elaboración de concreto para el vaciado del mismo en todos los moldes necesarios para realizar los ensayos contemplados a fin de cumplir con los objetivos de la presente investigación, siendo el procedimiento consistente con la norma ASTM C31 (Anexo 02), y se describe a continuación:

- Se procedió a pesar cada uno de los materiales para la elaboración de concreto, siendo la fibra de vidrio pesada en balanza de precisión.
- Fueron preparados todos los moldes considerados para el vaciado.
- Se consideró para el primer ciclo de mezclado la totalidad de agua y cemento, para después

incorporar agregados y las fibras de vidrio; teniéndose un total de ciclo de mezclado entre 1 y 2 minutos, sin embargo, se pudo observar que el concreto elaborado con fibras de vidrio incorporadas necesitó un tiempo adicional de mezclado para que éstas se distribuyan uniformemente en la mezcla.

- Concluido el mezclado se procedió a verificar el asentamiento de la mezcla de concreto, para después proceder con el vaciado en los moldes necesarios.

Las probetas cilíndricas fueron elaboradas de acuerdo a la normatividad del Anexo 02, con un diámetro de 6" y una altura de 12". Además, fue considerado el apisonado respectivo con una varilla lisa de 5/8" en tres etapas y 25 golpes distribuidos por cada etapa, con la finalidad de reducir vacíos en las probetas.



Figura 2. Elaboración de probetas cilíndricas

2.5. Ensayos realizados

2.5.1. Ensayos en estado fresco del concreto

Una vez obtenido el diseño de mezclas se procedió a realizar el vaciado del concreto en los moldes, siendo necesario la realización de ensayos en estado fresco del concreto, con la finalidad de controlar el asentamiento o SLUMP de la mezcla de concreto, parámetro principal de control en lo que a la trabajabilidad del concreto respecta.

2.5.1.1. Ensayo de revenimiento o asentamiento en el cono de Abrams (ASTM-C143).

El presente ensayo se realizó de acuerdo a la norma ASTM-C143. Y para realizar esta prueba

se utiliza un molde en forma de cono truncado de 30 cm de altura, con un diámetro inferior en su base de 20cm, y en la parte superior un diámetro de 10 cm. Para compactar el concreto se utiliza una barra de acero liso de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud y punta semiesférica. (Abanto, 1995)

Equipo utilizado

- Varilla Lisa de 5/8".
- Cono de Abrams.

Descripción del proceso

- El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando las aletas. Seguidamente se vierte una capa de concreto hasta un tercio del volumen. Se apisona con la varilla, aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente.
- Enseguida se colocan otras dos capas con el mismo procedimiento a un tercio del volumen y consolidando, de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior.
- La tercera capa se deberá llenar en exceso, para luego enrasar al término de la consolidación. Lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente en dirección vertical.
- El concreto moldeado fresco se asentará, la diferencia entre la altura del molde y la altura de la mezcla fresca se denomina Slump.
- Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir más de 2 minutos de los cuales el proceso de desmolde no toma más de cinco segundos.



Figura 3. Ensayo de Revestimiento o asentamiento en el cono de Abrams.

2.5.2. Ensayos en estado endurecido del concreto

2.5.2.1. Ensayo de resistencia a compresión

Este ensayo fue realizado en conformidad con la norma ASTM C39, y consiste en la aplicación de carga axial en la parte superior de la probeta, de forma constante hasta alcanzar la rotura del espécimen de prueba, siendo la resistencia a la compresión el cociente resultante de la máxima carga aplicada entre el área promedio de la probeta antes de que ocurra la rotura de la misma.

Se emplea la resistencia a compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran incrementándose esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura). (Abanto Castillo, 1994)

La resistencia a la compresión de la probeta cilíndrica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f'c = P / A \text{ (kg/cm}^2\text{)}; A = \pi \phi / 2^4$$

Dónde:

$f'c$: Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto. (kg/cm²).

P: Carga de rotura (kg).

ϕ : Diámetro de la probeta cilíndrica (cm).

A: Área promedio de la probeta (cm²).

Equipo utilizado

- Máquina de prueba (Prensa).
- Bloques de acero con caras duras. (Anillos con neopreno).



Figura 4. Muestras de Ensayos



Figura 5. Ensayo de compresión del concreto

Tipo de fractura

Según la norma ASTM C39, los tipos de fractura que pueden presentarse son:

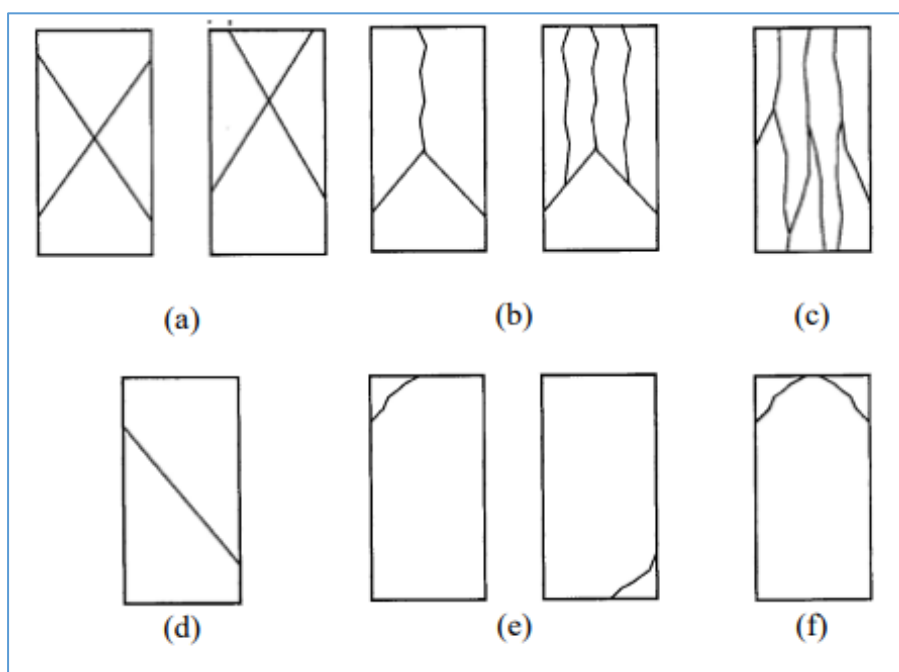


Figura 6. Tipo de falla de cilindros de prueba estándar

- a. Conos bien formados en ambos extremos.
- b. Cono bien formado en un extremo con grietas verticales.

- c. Grietas columnares y conos mal formados.
- d. Fractura diagonal, sin grietas.
- e. Fracturas laterales en la parte superior o inferior.
- f. Fracturas laterales en la parte superior.

Fuente: ASTM C39

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Ensayos en estado endurecido del concreto

3.1.1. Comparación de la resistencia a compresión

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla. El resultado muestra que a medida que el porcentaje de fibra de vidrio aumenta en la mezcla hay un aumento correspondiente en la resistencia.

Tabla 17

Resistencia a la compresión 210 kg/cm², concreto patrón (CP)

Descripción	Edad (días)	%Fibra de Vidrio	Área (Cm ²)	Carga (kg-f)	RESISTENCIA		% Resistencia	% Prom. Resistencia	Promedio (kg/cm ²)
					Rotura (kg/cm ²)	Diseño (kg/cm ²)			
1	28	0.00	177.19	38,090.00	214.97	210.00	102.37	102.33	214.89
2	28	0.00	176.95	38,060.00	215.09	210.00	102.42		
3	28	0.00	178.37	38,100.00	213.60	210.00	101.72		
4	28	0.00	177.19	38,080.00	214.92	210.00	102.34		
5	28	0.00	176.95	38,070.00	215.15	210.00	102.45		
6	28	0.00	176.95	38,050.00	215.03	210.00	102.40		
7	28	0.00	177.19	38,110.00	215.08	210.00	102.42		
8	28	0.00	177.19	38,100.00	215.03	210.00	102.39		
9	28	0.00	76.951	38,070.00	215.15	210.00	102.45		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18

Resistencia a la compresión 210 kg/cm², Muestra + adición de fibra de vidrio en 0.025% a los 28 días. (CE-01)

Descripción	Edad (días)	%Fibra de Vidrio	Área (Cm ²)	Carga (kg-f)	RESISTENCIA		% Resistencia	% Prom. Resistencia	Promedio (kg/cm ²)
					Rotura (kg/cm ²)	Diseño (kg/cm ²)			
1	28	0.025	177.19	40,610.00	229.19	210	109.14	109.13	229.17
2	28	0.025	177.19	40,570.00	228.97	210	109.03		
3	28	0.025	176.95	40,570.00	229.27	210	109.18		
4	28	0.025	176.95	40,560.00	229.22	210	109.15		
5	28	0.025	176.95	40,580.00	229.33	210	109.20		
6	28	0.025	176.95	40,570.00	229.27	210	109.18		
7	28	0.025	176.95	40,570.00	229.27	210	109.18		
8	28	0.025	176.95	40,520.00	228.99	210	109.04		
9	28	0.025	177.19	40,580.00	229.02	210	109.06		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19

Resistencia a la compresión 210 kg/cm², Muestra + adición de fibra de vidrio en 0.075% a los 28 días (CE-02)

Descripción	Edad (días)	%Fibra de Vidrio	Área (Cm ²)	Carga (kg-f)	RESISTENCIA		% Resistencia	% Prom. Resistencia	Promedio (kg/cm ²)
					Rotura (kg/cm ²)	Diseño (kg/cm ²)			
1	28	0.075	177.19	38,940.00	219.77	210	104.65	104.69	219.85
2	28	0.075	177.19	38,960.00	219.88	210	104.71		
3	28	0.075	176.95	38,900.00	219.84	210	104.68		
4	28	0.075	177.19	38,960.00	219.88	210	104.71		
5	28	0.075	177.19	38,940.00	219.77	210	104.65		
6	28	0.075	176.95	38,890.00	219.78	210	104.66		
7	28	0.075	176.95	38,940.00	220.06	210	104.79		
8	28	0.075	177.19	38,960.00	219.88	210	104.71		
9	28	0.075	177.19	38,940.00	219.77	210	104.65		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20

Resistencia a la compresión 210 kg/cm², Muestra + adición de fibra de vidrio en 0.125% a los 28 días (CE-03)

Descripción	Edad (días)	%Fibra de Vidrio	Área (Cm ²)	Carga (kg-f)	RESISTENCIA		% Resistencia	% Prom. Resistencia	Promedio (kg/cm ²)
					Rotura (kg/cm ²)	Diseño (kg/cm ²)			
1	28	0.125	177.19	38,550.00	217.57	210	103.60	103.62	217.60
2	28	0.125	177.19	38,560.00	217.62	210	103.63		
3	28	0.125	176.95	38,510.00	217.63	210	103.63		
4	28	0.125	177.19	38,550.00	217.57	210	103.60		
5	28	0.125	177.19	38,560.00	217.62	210	103.63		
6	28	0.125	176.95	38,510.00	217.63	210	103.63		
7	28	0.125	176.95	38,500.00	217.58	210	103.61		
8	28	0.125	177.19	38,560.00	217.62	210	103.63		
9	28	0.125	177.19	38,550.00	217.57	210	103.60		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21

Evolución de la resistencia a la compresión del concreto $F'c=210$ kg/cm²

Descripción	% Fibra de Vidrio	Edad (días)	Resistencia promedio
CP	0	7	140.03
CP	0	14	184.00
CP	0	28	214.89
CE-01	0.025	7	149.38
CE-01	0.025	14	196.41
CE-01	0.025	28	229.17
CE-02	0.075	7	143.16
CE-02	0.075	14	188.38
CE-02	0.075	28	219.85
CE-03	0.125	7	141.84
CE-03	0.125	14	186.28
CE-03	0.125	28	217.60

Fuente: Elaboración Propia (Ver Anexos)

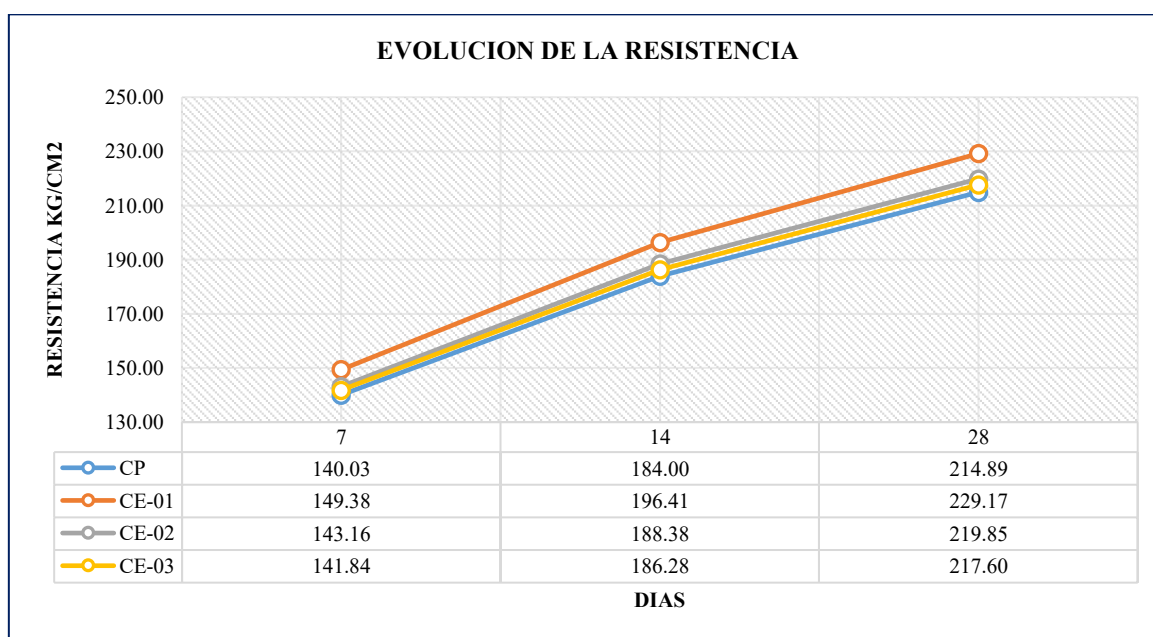


Figura 7. Evolución de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

Analizando los datos de la Fig. 4.1, se puede notar que la resistencia a la compresión a los 28 días de edad que se obtiene para el concreto patrón (CP), es de 214.89 kg/cm², alcanzado así la resistencia de diseño (210 kg/cm²). En cuanto a los resultados de las probetas en las que fueron añadidas fibras de vidrio en diferentes porcentajes 0.025%, 0.075% y 0.125% con respecto al peso de los materiales, se puede observar que la resistencia a la compresión a los 28 días es superior al concreto patrón (CP), en todos los grupos de control.

3.1.1.1 Interpretación de datos: Concreto Patrón (CP) - Concreto con fibra de vidrio incorporada al 0.025% con respecto al peso los materiales (CE-01)

De acuerdo a la siguiente figura se observa que:

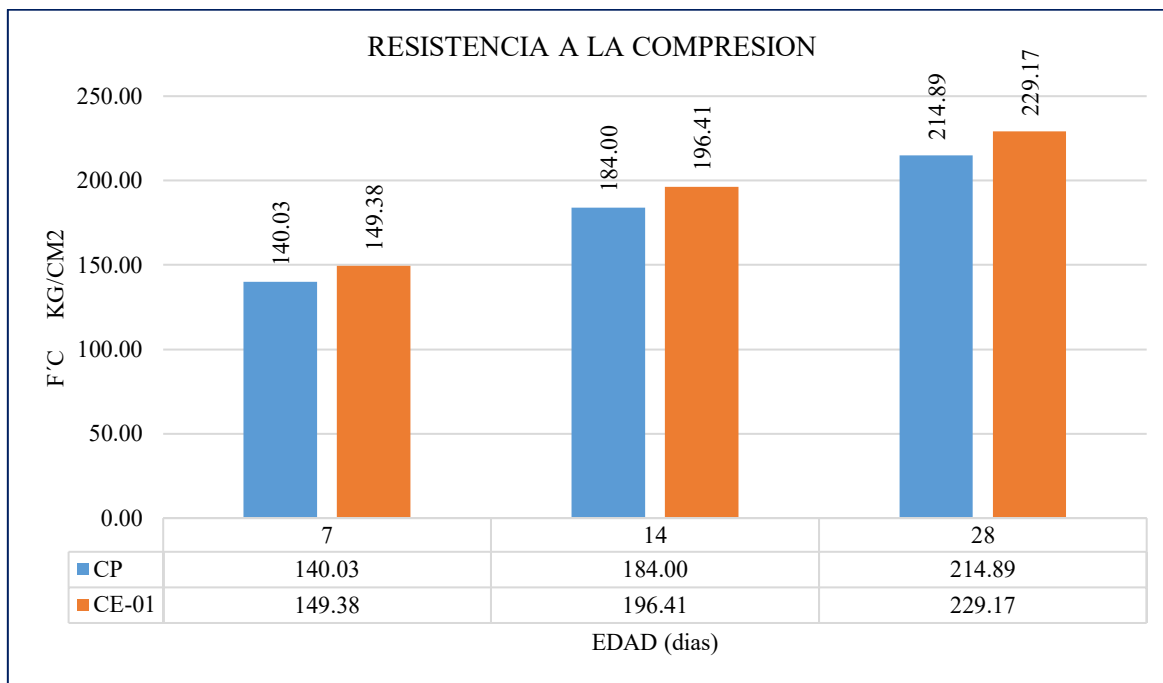


Figura 8. Efecto del 0.025 % de fibra de vidrio en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

El F'c promedio desarrollado (u) a los 7 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.025% es de 149.38 kg/cm², y representa el 106.68% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 140.03 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 6.68%.

El F'c promedio desarrollado (u) a los 14 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.025% es de 196.41 kg/cm², y representa el 106.74% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 184.00 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 6.74%.

El F'c promedio desarrollado (u) a los 28 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.025% es de 229.17 kg/cm², y representa el 106.65% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 214.89 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 6.65%.

3.1.1.2 Interpretación de datos: Concreto Patrón (CP) - Concreto con fibra de vidrio incorporada al 0.075% con respecto al peso los materiales (CE-02)

De acuerdo a la siguiente figura se observa que:

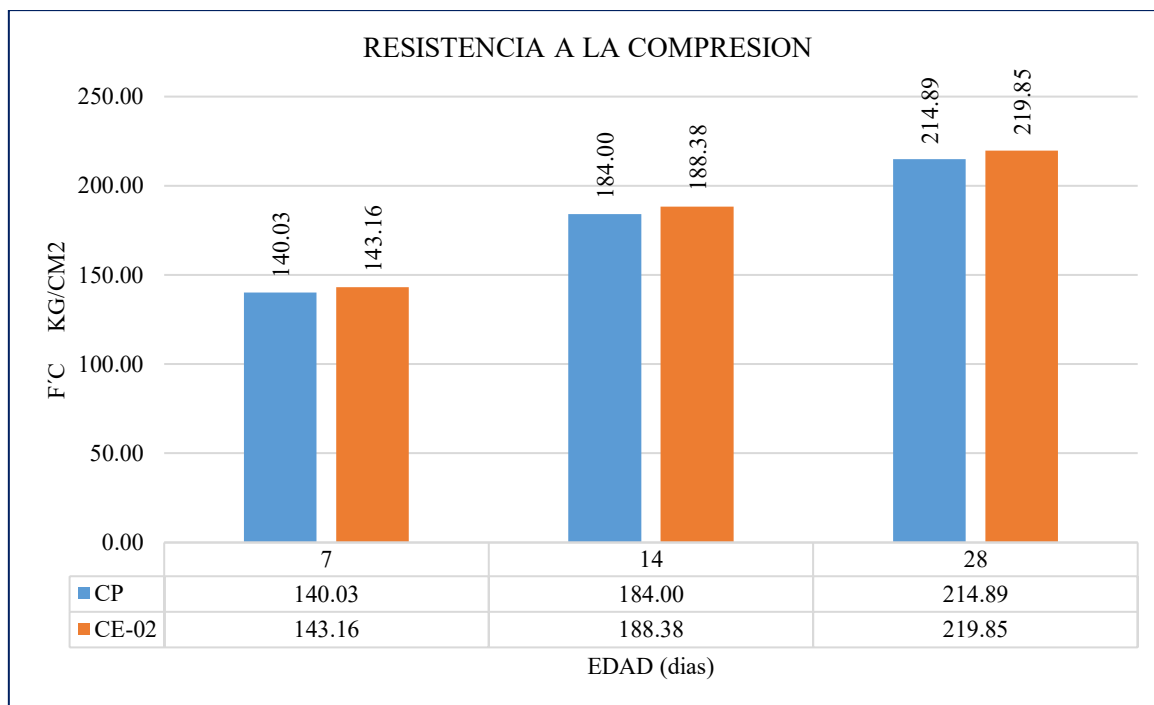


Figura 9. Efecto del 0.075 % de fibra de vidrio en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

El $f'c$ promedio desarrollado (u) a los 7 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.075% es de 143.16 kg/cm², y representa el 102.24% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 140.03 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 2.24%.

El $f'c$ promedio desarrollado (u) a los 14 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.075% es de 188.38 kg/cm², y representa el 102.38% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 184.00 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 2.38%.

El $f'c$ promedio desarrollado (u) a los 28 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.075% es de 219.85 kg/cm², y representa el 102.31% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 214.89 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 2.31%.

3.1.1.3 Interpretación de datos: Concreto Patrón (CP) - Concreto con fibra de vidrio incorporada al 0.125% con respecto al peso los materiales (CE-03)

De acuerdo a la siguiente figura se observa que:

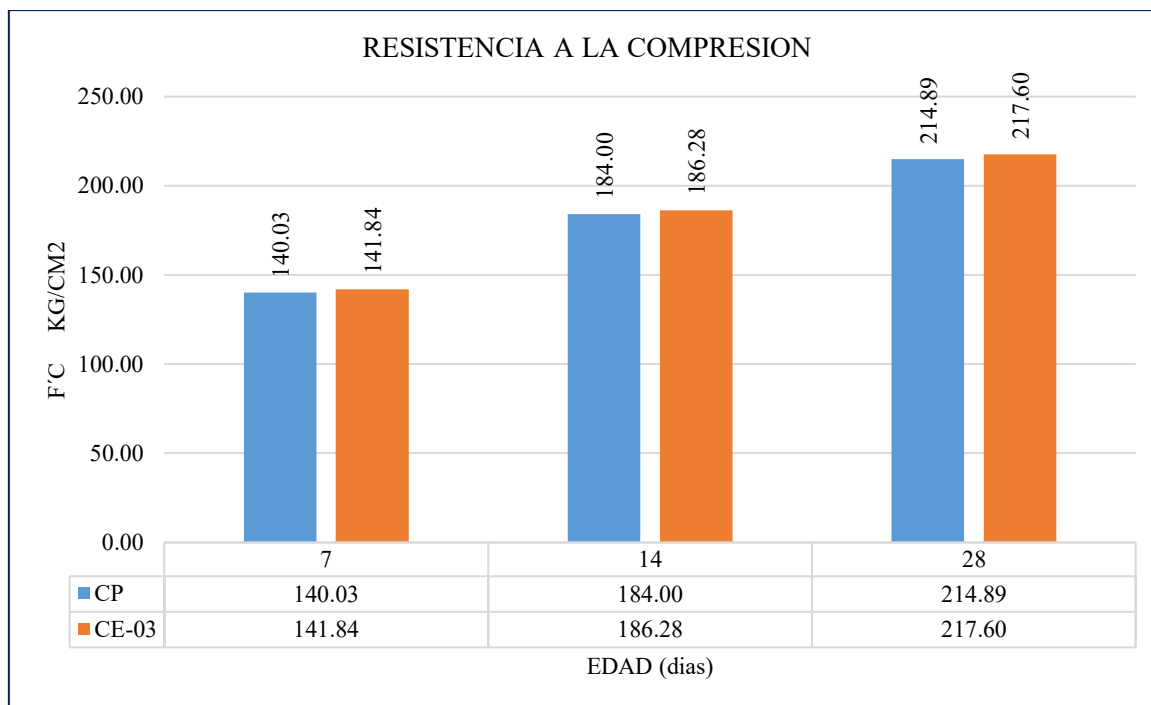


Figura 10. Efecto del 0.125 % de fibra de vidrio en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

El $f'c$ promedio desarrollado (u) a los 7 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.125% es de 141.84 kg/cm², y representa el 101.29% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 140.03 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 1.29%.

El $f'c$ promedio desarrollado (u) a los 14 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.125% es de 186.28 kg/cm², y representa el 101.23% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 184.00 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 1.23%.

El $f'c$ promedio desarrollado (u) a los 28 días por el concreto con fibras de vidrio incorporadas en 0.125% es de 217.60 kg/cm², y representa el 101.26% respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón 214.89 kg/cm². Incrementándose la resistencia a la compresión en 1.26%.

3.1.2 Comparación del Slump del concreto

La consistencia de la mezcla es afectada por la adición de fibras de vidrio, así como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 22

Medición del Slump en laboratorio

Descripción	% fibra de Vidrio	Asentamiento Promedio (pulg)	Trabajabilidad
		Slump (pulg)	
Concreto Patrón (CP)	0.000%	4.00	Trabajable
Concreto Experimental (CE-01)	0.025%	3.40	Trabajable
Concreto Experimental (CE-02)	0.075%	2.80	Poco trabajable
Concreto Experimental (CE-02)	0.125%	2.20	Poco trabajable

Fuente: Elaboración Propia (Ver Anexos)

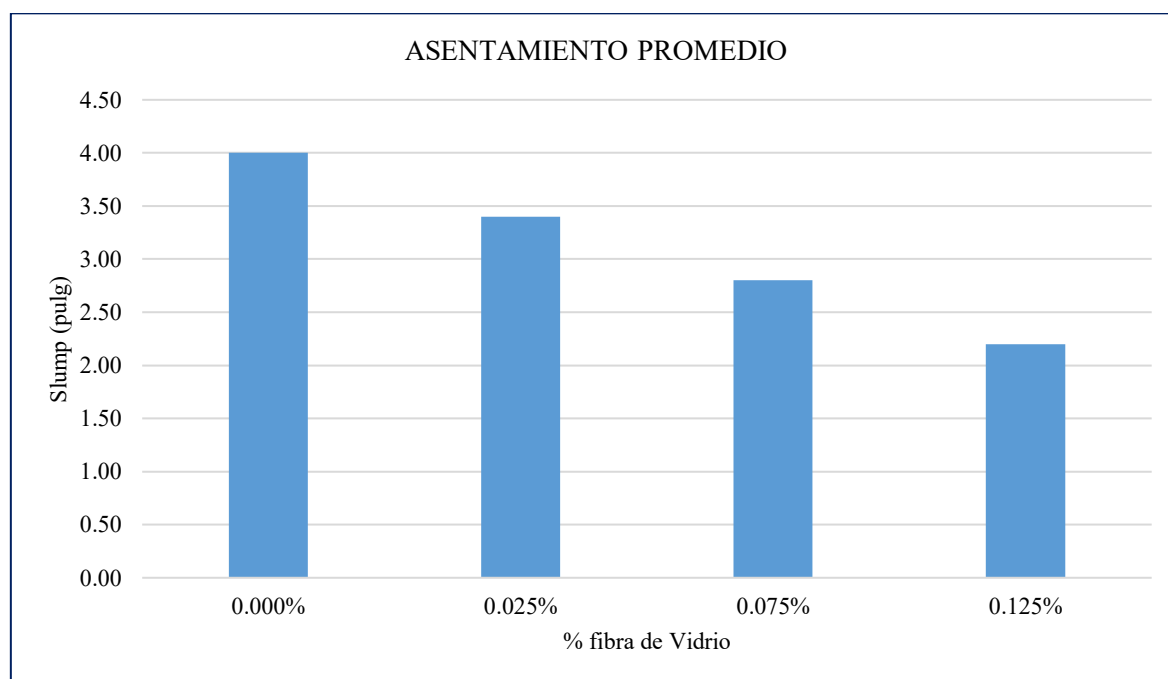


Figura 11. Efecto del % de fibra de vidrio en el asentamiento de las mezclas del concreto a los 28 días.

3.2 Análisis de Costos

El cálculo de volumen se realizó al elemento estructural columna, con las siguientes consideraciones:

a) Según Morales (2006), las columnas se predimensionan con:

$$bD = \frac{P}{n f'c}$$

Donde:

D= dimensión de la sección en la dirección del análisis sísmico de la columna.

b= la otra dimensión de la sección de la columna.

P= carga total que soporta la columna.

n= valor que depende del tipo de columna.

f'c= resistencia del concreto a la compresión simple.

b) Una columna tipo C2 (columna extrema) con área tributaria 20m², altura 2.5m, cargas totales que soporta la columna 1000 Kg/m², de 10 niveles.

c) Predimensionamiento de la columna con concreto normal y concreto adicionado con fibras de vidrio

Donde: P = 1.25 P.G

$$n = 0.25$$

$$P = \frac{1000kg}{m^2} * 20m^2 = 20000kg$$

$$n = 0.25$$

- Predimensionamiento de la columna, concreto normal f'c=214.89kg/cm²

$$bD = \frac{1.25 * 20000 * 10}{0.25 * 214.89} = 4653.544cm^2$$

- Predimensionamiento de la columna, concreto con adición de 0.025% fibra de vidrio f'c=229.17kg/cm²

$$bD = \frac{1.25 * 20000 * 10}{0.25 * 229.17} = 4363.573cm^2$$

d) Volumen de Concreto

- Volumen de concreto normal

$$V1 = 4653.544cm^2 * 2.5m = 1.163m^3$$

- Volumen de concreto adicionado 0.025% fibra de vidrio

$$V2 = 4363.573 \text{ cm}^2 * 2.5 \text{ m} = 1.091 \text{ m}^3$$

3.2.1. Cálculo del costo del Concreto

Con el fin de obtener costos unitarios de los materiales, se realizaron cotizaciones:

- Según los costos unitarios por metro cúbico del agregado fino y grueso en la ciudad de Tarapoto es de S/. 65.00 y S/. 95.00 soles respectivamente.

- La fibra de vidrio tiene un costo de S/. 15.90.

En las tablas 21 y 22 se muestra los costos unitarios del concreto normal y el concreto con adición de 0.025% fibra de vidrio.

Tabla 23

Costo unitario de materiales para el concreto normal

Materiales	Unidad	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	Bol.	8.612	26	223.91
Agregado fino	m3	0.329	65	21.39
Agregado grueso	m3	0.328	95	31.16
Agua efectiva	m3	0.208	4.8	1.00
Costo unitario para 1 m3				277.46
Volumen de concreto m3				1.163
COSTO TOTAL				322.69

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24

Costo unitario de materiales para el concreto normal con adición de 0.025 % de fibra de vidrio

Materiales	Unidad	Cantidad	P.U	Parcial
Cemento	Bol.	8.60	26	223.60
Agregado fino	m3	0.329	65	21.39
Agregado grueso	m3	0.328	95	31.16
Agua efectiva	m3	0.208	4.8	1.00
Fibra de vidrio	kg	0.56	15.9	8.90
Costo unitario para 1 m3				286.05
Volumen de concreto m3				1.091
COSTO TOTAL				312.08

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Discusión de resultados

3.3.1. Efecto del % de fibra de vidrio en la resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión del concreto incrementó 6.65%, 2.31% y 1.26% incorporando 0.025%, 0.075% y 0.125% fibra de vidrio respectivamente, en la figura 4.1 se puede observar claramente que a medida que se incrementa % de fibra de vidrio la resistencia a la compresión es menor.

3.3.2 Costos de producción del concreto normal y concreto adicionado 0.025% de fibra de vidrio.

En la tabla 23 y tabla 24, se observa que el resultado de costo unitario de los materiales del concreto para 1m³ sin fibra de vidrio es S/.322.69 y con 0.025% fibra de vidrio es S/. 312.08, lo que representa un 96.71% con respecto al concreto normal, por lo tanto, el costo del concreto disminuye en 3.29%.

3.3.3 Efecto del % de fibra de vidrio en el slump.

El resultado demuestra que la consistencia del concreto es afectada por la adición de fibras de vidrio. Se observó que el valor de asentamiento para el concreto Patrón fue de 4.00” disminuyendo en 3.40”, 2.80” y 2.20” con 0.025%, 0.075% y 0.125% fibra de vidrio respectivamente.

3.4 Análisis estadístico

3.4.1 Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón (CP).

Tabla 25

Análisis estadístico del CP – Resistencia a la Compresión – 28 días

Muestra	X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
CP	214.97	0.08	0.01
CP	215.09	0.20	0.04
CP	213.60	-1.29	1.67
CP	214.92	0.03	0.00
CP	215.15	0.26	0.07
CP	215.03	0.14	0.02
CP	215.08	0.19	0.04
CP	215.03	0.14	0.02
CP	215.15	0.26	0.07

Fuente: Elaboración Propia

$$n = 9$$

$$\Sigma X = 1934.02$$

$$\bar{X} = 214.89$$

$$\Sigma (X - \bar{X})^2 = 1.92$$

$$\sigma = 0.49$$

$$C.V = 0.23\%$$

Según la tabla (coeficiente de variación y desviación estándar), para este grupo la desviación estándar se califica como:

$$\sigma = 0.49 \text{ (Excelente), ya que:}$$

$$\sigma < 14.00$$

Y el coeficiente de variación se considera

$$v = 0.23\% \text{ (Excelente), ya que:}$$

$$v < 2\%$$

3.4.2 Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión – Concreto Experimental (CE-01, con 0.025 % de fibra de vidrio).

Tabla 26

Análisis estadístico del CE-01 – Resistencia a la Compresión – 28 días

Muestra	X	X - \bar{X}	(X - \bar{X}) ²
CE - 01	229.19	0.02	0.00
CE - 01	228.97	-0.20	0.04
CE - 01	229.27	0.10	0.01
CE - 01	229.22	0.05	0.00
CE - 01	229.33	0.16	0.03
CE - 01	229.27	0.10	0.01
CE - 01	229.27	0.10	0.01
CE - 01	228.99	-0.18	0.03
CE - 01	229.02	-0.15	0.02

Fuente: Elaboración Propia

$$n = 9$$

$$\Sigma X = 2062.53$$

$$\bar{X} = 229.17$$

$$\Sigma (X-\bar{X})^2 = 0.15$$

$$\sigma = 0.14$$

$$C.V = 0.06\%$$

Según la tabla (coeficiente de variación y desviación estándar), para este grupo la desviación estándar se califica como:

$$\sigma = 0.14 \text{ (Excelente), ya que:}$$

$$\sigma < 14.00$$

Y el coeficiente de variación se considera

$$v = 0.06\% \text{ (Excelente), ya que:}$$

$$v < 2\%$$

3.4.3 Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión – Concreto Experimental (CE-02, con 0.075 % de fibra de vidrio).

Tabla 27

Análisis estadístico del CE-02 – Resistencia a la Compresión – 28 días

Muestra	X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
CE - 02	219.77	-0.08	0.01
CE - 02	219.88	0.03	0.00
CE - 02	219.84	-0.01	0.00
CE - 02	219.88	0.03	0.00
CE - 02	219.77	-0.08	0.01
CE - 02	219.78	-0.07	0.00
CE - 02	220.06	0.21	0.05
CE - 02	219.88	0.03	0.00
CE - 02	219.77	-0.08	0.01

Fuente: Elaboración Propia

$$n = 9$$

$$\Sigma X = 1978.63$$

$$\bar{X} = 219.85$$

$$\Sigma (X-\bar{X})^2 = 0.07$$

$$\sigma = 0.09$$

$$C.V = 0.04\%$$

Según la tabla (coeficiente de variación y desviación estándar), para este grupo la desviación estándar se califica como:

$$\sigma = 0.09 \text{ (Excelente), ya que:}$$

$$\sigma < 14.00$$

Y el coeficiente de variación se considera

$$v = 0.04\% \text{ (Excelente), ya que:}$$

$$v < 2\%$$

3.4.4 Análisis estadístico: Resistencia a la Compresión – Concreto Experimental (CE-03, con 0.125% de fibra de vidrio).

Tabla 28

Análisis estadístico del CE-03 – Resistencia a la Compresión – 28 días

Muestra	X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
CE - 03	217.57	-0.03	0.00
CE - 03	217.62	0.02	0.00
CE - 03	217.63	0.03	0.00
CE - 03	217.57	-0.03	0.00
CE - 03	217.62	0.02	0.00
CE - 03	217.63	0.03	0.00
CE - 03	217.58	-0.02	0.00
CE - 03	217.62	0.02	0.00
CE - 03	217.57	-0.03	0.00

Fuente: Elaboración Propia

$$n = 9$$

$$\Sigma X = 1958.41$$

$$\bar{X} = 217.60$$

$$\Sigma (X - \bar{X})^2 = 0.01$$

$$\sigma = 0.03$$

$$C.V = 0.01\%$$

Según la tabla (coeficiente de variación y desviación estándar), para este grupo la desviación estándar se califica como:

$$\sigma = 0.03 \text{ (Excelente), ya que:}$$

$$\sigma < 14.00$$

Y el coeficiente de variación se considera

$$v = 0.04\% \text{ (Excelente), ya que:}$$

$$v < 2\%$$

3.5 Prueba de hipótesis

3.5.1. Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (CP) con respecto al concreto experimental (CE-01 con 0.025% de fibra de vidrio)

a. Parámetro de interés

Tabla 29

Análisis comparativo entre concreto patrón y concreto experimental (CE-01) – 28 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	Concreto Patrón (CP)	Concreto Experimental (CE-01)
% de Fibra de Vidrio	0.000%	0.025%
Numero de muestras(n)	9	9
Media (u)	214.89	229.17
Desviación estándar	0.49	0.14

Fuente. Elaboración propia

b. Hipótesis

Hipótesis Nula $H_0: u_2 \leq u_1$

Hipótesis Alternativa $H_1: u_2 > u_1$

c. Nivel de significancia

Con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, para todos los casos y con un grado de libertad de $n_1+n_2-2 = 9+9-2=16$, de la tabla estadística (Ver Anexo) se obtiene $t=1.746$, Por lo que se plantea:

(Rechazar $H_0: u_2 \leq u_1$ si $t > t_p$) (No se rechaza $H_1: u_2 > u_1$, “se acepta”)

d. Estadístico de Prueba t-student:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$S_p = 1.39$$

$$t_p = \frac{u_2 - u_1}{s_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_p = 4.84$$

e. Conclusión

"Se rechaza Ho"

Puesto que $t \leq t_p$ $1.746 \leq 4.84$ se concluye que adicionando fibra de vidrio en 0.025% incrementa la resistencia a la compresión.

4.5.2. Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (CP) con respecto al concreto experimental (CE-02 con 0.075% de fibra de vidrio)**a. Parámetro de interés****Tabla 30**

Análisis comparativo entre concreto patrón y concreto experimental (CE-02) – 28 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	Concreto Patrón (CP)	Concreto Experimental (CE-02)
% de Fibra de Vidrio	0.000%	0.075%
Numero de muestras(n)	9	9
Media(u)	214.89	219.85
Desviación estándar	0.49	0.09

Fuente. Elaboración propia

b. Hipótesis

Hipótesis Nula $H_0: u_2 \leq u_1$

Hipótesis Alternativa $H_1: u_2 > u_1$

c. Nivel de significancia

Con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, para todos los casos y con un grado de libertad de $n_1+n_2-2 = 9+9-2=16$, de la tabla estadística (Ver Anexo) se obtiene $t=1.746$, Por lo que se plantea:

(Rechazar $H_0: u_2 \leq u_1$ si $t > t_p$) (No se rechaza $H_1: u_2 > u_1$, "se acepta")

d. Estadístico de Prueba t-student:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$t_p = \frac{u_2 - u_1}{s_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$S_p = 1.39$$

$$t_p = 1.68$$

e. Conclusión

"Se rechaza H_0 "

Puesto que $t \leq t_p$ $1.746 \leq 1.68$ se concluye que adicionando fibra de vidrio en 0.075% incrementa la resistencia a la compresión.

3.5.3. Prueba de hipótesis a los 28 días del Concreto Patrón (CP) con respecto al concreto experimental (CE-03 con 0.125% de fibra de vidrio).

a. Parámetro de interés

Tabla 31

Análisis comparativo entre concreto patrón y concreto experimental (CE-03) – 28 días

Descripción	Grupo 1	Grupo 2
	Concreto Patrón	Concreto
	(CP)	Experimental (CE-03)
% de Fibra de Vidrio	0.000%	0.075%
Numero de muestras(n)	9	9
Media(u)	214.89	217.60
Desviación estándar	0.49	0.03

Fuente. Elaboración propia

b. Hipótesis

Hipótesis Nula $H_0: u_2 \leq u_1$

Hipótesis Alternativa $H_1: u_2 > u_1$

c. Nivel de significancia

Con un nivel de significancia $\alpha=0.05$, para todos los casos y con un grado de libertad de $n_1+n_2-2 = 9+9-2=16$, de la tabla estadística (Ver Anexo) se obtiene $t=1.746$, Por lo que se plantea:

(Rechazar $H_0: u_2 \leq u_1$ si $t > t_p$) (No se rechaza $H_1: u_2 > u_1$, "se acepta")

d. Estadístico de Prueba t-student:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$S_p = 1.38$$

$$t_p = \frac{u_2 - u_1}{s_p \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

$$t_p = 0.92$$

e. Conclusión

"Se acepta"

Puesto que $t \leq t_p$ $1.746 \leq 0.92$ se concluye que adicionando fibra de vidrio en 0.075% incrementa la resistencia a la compresión.

CONCLUSIONES

- Se logró determinar la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con incorporación de fibra de vidrio.
- Se determinó el costo del metro cubico de concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con incorporación de fibra de vidrio.
- Se hizo los diseños de mezclas de concreto $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ normal y concreto con incorporación de 0.025%, 0.075% y 0.125% de fibra de vidrio.
- La incorporación de 0.025%, 0.075% y 0.125% fibra de vidrio en el concreto normal $F'c 210 \text{ kg/cm}^2$ incrementa la resistencia a la compresión en 6.65%, 2.31% y 1.26% respectivamente, por lo tanto si mejora la resistencia a la compresión.
- La incorporación de 0.025% fibra de vidrio en el concreto normal $F'c 210 \text{ kg/cm}^2$ disminuye el costo de producción en 3.29 %.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda los agregados del río Huallaga debido a que sus propiedades físicas y mecánicas demuestran que tienen dureza y gradación adecuada.
- Se recomienda adicionar fibra de vidrio hasta 0.025 % con respecto al peso de los materiales en el concreto es más beneficioso, obteniendo mezclas más económica, porque se obtiene un concreto con resistencia mayor a un costo menor.
- El presente estudio debe servir a los estudiantes de ingeniería civil para desarrollar y ahondar en la investigación de concretos adicionados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah M. y Jallo E. (2011). "Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Concrete". Department of Civil Engineering. University of Mosul.
- Abanto Castillo, F. (1995). Tecnología del concreto, Perú: Universidad Mayor de San Marcos.
- Castiblanco C. D. y Carrero L. A. (2015). "Estudio Teórico y Experimental del Comportamiento del Hormigón con Materiales no Convencionales: Fibras de vidrio y Fibras de carbono, Sometido a Esfuerzos de Compresión". Universidad Católica de Colombia. Bogotá.
- Gowri R. Angeline M. (2013). "Effect of glass wool fibres on mechanical properties of concrete". Department of Civil Engineering. India.
- Isidro Perca, G. (2017). Influencia de las Fibras de Polipropileno en las propiedades del concreto $f'c$ 210kg/cm². Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Millán M. (2013). Comportamiento Del Hormigón Reforzado Con Fibras De Polipropileno Y Su Influencia En Sus Propiedades Mecánicas En El Cantón Ambato, Provincia De Tungurahua. Tesis de Grado. Ecuador: Universidad Técnica De Ambato.
- Montejo Fonseca A., Montejo Piratova F. y Montejo Piratova A. (2013). Tecnología y patología del concreto armado, Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- Morales Morales, R. (2006). Diseño en Concreto Armado. Lima, Perú. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Muñoz C. J. 2007. Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio. Tesis de grado. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería.
- Pasquel Carbajal E. (1998). Tópicos de Tecnología del Concreto. Lima, Perú.
- Olivares S., Galán C. y Roa J. (2003). "Los composites: características y aplicaciones en la

edificación”. Informes de la Construcción, vol. 54, n° 484.

Rivva López, E. (2014). Diseño de Mezclas (Segunda Edición). Lima.

Salinas Seminario, M. (2015). Elaboración de Expedientes Técnicos. Lima, Perú. Instituto de la Construcción y Gerencia.

Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología. (2005). Método de análisis de datos. Obtenido de Universidad de Córdoba:

Zapata Sierra J. A y Arango Córdoba S. (2013). “Influencia de la Fibra de Vidrio en las Propiedades Mecánicas de Mezclas de Concreto”. Universidad EAFIT, Colombia.

ANEXOS

Anexo 1: Constancia de ejecución de ensayos de laboratorio

Anexo 2: Ficha técnica del cemento

Anexo 3: Ensayo de laboratorio de agregados fino y grueso

Anexo 4: Agregado grueso chancado rio Huallaga t.m.1.

Anexo 5: Granulometría fibra de vidrio

Anexo 6: Granulometría fibra de vidrio + agregado fino

Anexo 7: Diseños de mezclas de concreto $f'c$ 210 kg/cm²

Anexo 8: Rotura de especímenes de 6"x 12" de muestra patrón $f'c$ 210 kg/cm²

Anexo 9: Rotura de especímenes de 6"x 12" de muestra patrón + 0.025% de fibras de un $f'c$ 210 kg/cm²

Anexo 10: Rotura de especímenes de 6"x 12" de muestra patrón + 0.075% de fibras de un $f'c$ 210 kg/cm²

Anexo 11: Rotura de especímenes de 6"x 12" de muestra patrón + 0.125% de fibras de un $f'c$ 210 kg/cm²

Anexo 12: Distribución t de student