

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA
PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTA DE ACERO PARA LA
MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

PRESENTADO POR:

Bach. Cristhian Alexis MEDINA CASTRO

Bach. Sergio Andersson PUMARICRA CARRILLO

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Nuevo Chimbote – Perú

2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

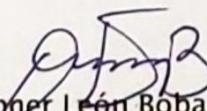
Siendo las once horas de la mañana, del 27 de diciembre del dos mil diecinueve, en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa, El Jurado Evaluador integrado por los docentes Ms. Abner León Bobadilla (Presidente), Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Secretario), Ms. Julio Rivasplata Díaz (Integrante) y Ms. Luz Álvarez Asto (Accesitaria), en cumplimiento a la Resolución N° 638-2019-UNS-CFI y Resolución Decanal N° 812-2019-UNS-FI, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada "ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTA DE ACERO PARA LA MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS" presentado por los Bachilleres MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS y PUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON, quienes fueron asesorados por el Ms. Julio Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 285-2019-UNS-FI.

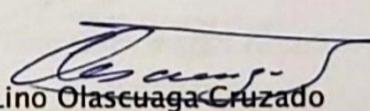
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

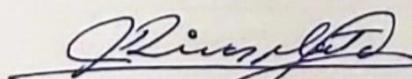
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS	16	BUENO

Siendo las doce horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 27 de diciembre de 2019


Ms. Abner León Bobadilla
Presidente


Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado
Secretario


Ms. Julio Rivasplata Díaz
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS

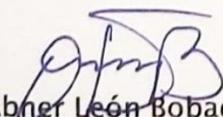
Siendo las once horas de la mañana, del 27 de diciembre del dos mil diecinueve, en el Pabellón de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil del Campus Universitario de la Universidad Nacional del Santa, El Jurado Evaluador integrado por los docentes Ms. Abner León Bobadilla (Presidente), Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Secretario), Ms. Julio Rivasplata Díaz (Integrante) y Ms. Luz Álvarez Asto (Accesitaria), en cumplimiento a la Resolución N° 638-2019-UNS-CFI y Resolución Decanal N° 812-2019-UNS-FI, dan inicio a la sustentación de la Tesis titulada "ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTA DE ACERO PARA LA MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS" presentado por los Bachilleres MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS y PUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON, quienes fueron asesorados por el Ms. Julio Rivasplata Díaz, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 285-2019-UNS-FI.

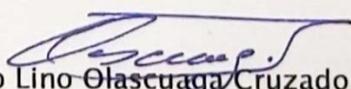
El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

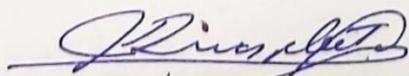
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
PUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON	16	BUENO

Siendo las doce horas del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 27 de diciembre de 2019


Ms. Abner León Bobadilla
Presidente


Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado
Secretario


Ms. Julio Rivasplata Díaz
Integrante

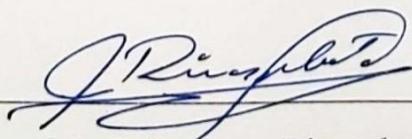
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA
PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTA DE ACERO PARA LA
MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

REVISADO POR:

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "J. Rivasplata", is written over a horizontal line.

Ms. Julio Cesar Rivasplata Díaz

ASESOR

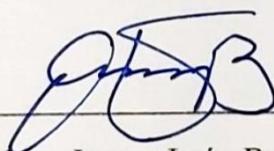
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA
PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTA DE ACERO PARA LA
MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

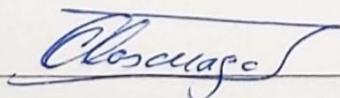
**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

JURADO EVALUADOR DE TESIS:



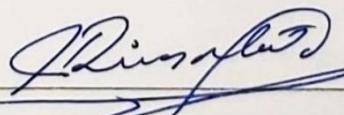
Ms. Abner Itamar León Bobadilla

PRESIDENTE



Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado

SECRETARIO



Ms. Julio Cesar Rivasplata Diaz

INTEGRANTE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, que durante todo este tiempo me estuvo guiando y cuidando para llegar victorioso a mi meta.

A mis padres, que me dieron la vida y las enseñanzas en cada etapa de mi vida, a ellos que me dieron los recursos y el apoyo necesario para cada proyecto, motivándome a superarme cada día.

A mis maestros y amigos, que en su medida dedicaron su tiempo para brindarme los conocimientos y consejos para poder lograr mis objetivos.

Cristhian Medina Castro

DEDICATORIA

A Dios.

Por darme la vida, y por guiármela día tras día, por darme las oportunidades de llegar hasta aquí, y por darme la inteligencia necesaria para saber afrontar los problemas; a él por bendecir mi vida y la vida de mis familiares.

A mi familia, que siempre luchó conmigo y me apoyó en cada tropiezo en mi vida, y estuvo conmigo para celebrar mis triunfos, en especial a mis padres Janet y Abad, que me brindaron su apoyo incondicional día a día.

A mis profesores, que siempre tuvieron alguna enseñanza que me sirvió para salir adelante en la vida.

Sergio Andersson Pumaricra Carrillo

AGRADECIMIENTO

A mi familia, gracias por su apoyo, paciencia, dedicación y motivación, gracias a ello, todo esto es posible.

A la Universidad Nacional del Santa, por su atención y amabilidad en todo lo referente a mi vida como alumno universitario.

Al ingeniero Julio Rivasplata Díaz y Lino Olascuaga Cruzado por su decisivo apoyo en este trabajo de investigación, por compartir sus conocimientos profesionales y la buena disposición a la colaboración que nos han mostrado.

Cristhian Medina Castro

AGRADECIMIENTO

En forma muy especial agradezco a Dios, a mis padres, hermano y familiares; por estar siempre presentes, por ese cariño y apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos de toda la vida por los consejos, la motivación y el apoyo que me brindaron oportunamente para dar un paso más en mi vida profesional.

Al ingeniero Lino Olascuaga Cruzado y Julio Rivasplata Díaz por su asesoramiento, orientación y apoyo durante el desarrollo de la presente Tesis.

Sergio Andersson Pumaricra Carrillo

Índice general

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	23
1.1. Antecedentes:	24
1.2. Formulación del problema.....	28
1.3. Objetivos.....	29
1.3.1. Objetivo general	29
1.3.2. Objetivos específicos	29
1.4. Formulación de la hipótesis	29
1.4.1. Variables e indicadores de la investigación	30
1.4.1.1. Variable dependiente.....	30
1.4.1.2. Variable independiente.....	30
1.5. Justificación	30
1.6. Limitaciones del trabajo	30
1.6.1. Limitación espacial	30
1.6.2. Limitación temporal.....	31
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	33
2.1. Pavimentos.....	33
2.1.1. Tipos de pavimentos.....	33
2.2. Pavimentos Rígidos.....	36
2.2.1. Pavimentos rígidos en el Perú.....	36
2.2.1.1. El problema del pavimento rígido en el Perú	37
2.2.2. Ventajas del pavimento rígido.	38
2.2.3. Tipos de pavimentos rígidos.	39
2.2.3.1. Pavimentos de concreto simple con juntas (JPCP).	39
2.2.3.2. Pavimentos de concreto armado con barras transversales.....	40
2.2.3.3. Pavimentos de concreto continuamente reforzados (CRCP).	41
2.2.3.4. Pavimentos de concreto con losas cortas (Optipave).	42

2.2.4.	Elementos de los pavimentos rígidos.	43
2.2.4.1.	Subrasante.	43
2.2.4.2.	Subbase.	44
2.2.4.3.	Base.	45
2.2.4.4.	Carpeta de rodadura o losa.	45
2.2.4.5.	Las juntas.	46
2.2.5.	Fallas en los pavimentos rígidos.	46
2.2.5.1.	Fallas funcionales.	46
2.2.5.2.	Fallas estructurales.	47
2.3.	Concreto hidráulico.	52
2.3.1.	Componentes del concreto hidráulico.	53
2.3.1.1.	Cemento Portland.	54
a.	Fabricación del Cemento Portland.	54
b.	Tipos de Cemento Portland.	55
c.	Requisitos físicos y químicos del cemento.	56
2.3.1.2.	Agregados.	61
a.	Agregado fino.	62
b.	Agregado grueso.	65
2.3.1.2.1.	Características físicas de los agregados.	67
a.	Condiciones de Saturación.	67
b.	Peso Específico.	68
c.	Peso Unitario.	68
d.	Porcentaje de vacíos.	69
e.	Absorción.	70
f.	Porosidad.	70
g.	Humedad.	71
2.3.1.2.2.	Características Resistentes.	72

a.	Resistencia.....	72
b.	Tenacidad.....	72
c.	Dureza.....	73
2.3.1.2.3.	Módulo de fineza de los agregados.....	73
2.3.1.3.	Agua.....	74
a.	Relación Agua / Cemento.....	76
2.3.2.	Propiedades del Concreto.....	77
2.3.2.1.	Trabajabilidad.....	77
2.3.2.2.	Permeabilidad.....	77
2.3.2.3.	Resistencia.....	78
2.3.2.4.	Durabilidad.....	80
2.3.2.5.	Exudación.....	81
2.3.2.6.	Elasticidad.....	81
2.3.2.7.	Escurrimiento plástico.....	82
2.3.2.8.	Dilatación térmica.....	82
2.3.3.	Mezclado del Concreto.....	82
2.3.4.	Diseño de mezcla de concreto.....	83
2.4.	Acero.....	84
2.4.1.	Fabricación del Acero.....	85
2.4.2.	El acero en el Perú.....	86
2.4.2.1.	Normas que regulan la calidad del acero.....	86
2.4.3.	Fibras de acero.....	87
2.4.4.	El acero y el Medio Ambiente.....	89
2.5.	Concreto Hidráulico reforzado con fibras.....	90
2.5.1.	Refuerzo del concreto con fibras de acero.....	91
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		95
3.1.	Método de investigación.....	95

3.2.	Diseño experimental.....	95
3.3.	Población	95
3.4.	Muestra	96
3.5.	Obtención en laboratorio de muestras representativas	96
3.6.	Peso unitario de los agregados.....	97
3.6.1.	Peso unitario suelto	97
3.6.2.	Peso unitario compactado.....	97
3.7.	Análisis granulométrico.....	98
3.8.	Peso específico y absorción	100
3.8.1.	Absorción y Peso específico del agregado fino	100
3.8.2.	Absorción y Peso específico del agregado grueso	101
3.9.	Abrasión a los Ángeles.....	102
3.10.	Contenido de humedad.....	103
3.11.	Diseño de mezcla del concreto hidráulico	104
3.11.1.	Elección de la resistencia promedio (f^c)	104
3.11.2.	Cálculo de la desviación estándar	104
3.11.3.	Cálculo de la resistencia promedio requerida (f^{cr}).....	106
3.11.4.	Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	107
3.11.5.	Selección del asentamiento (slump).....	109
3.11.6.	Elección de agua de mezclado y contenido de aire.....	110
3.11.7.	Elección de la relación agua/cemento (a/c)	113
a.	Por resistencia.....	114
b.	Por durabilidad.	114
3.11.8.	Cálculo del contenido de cemento	116
3.11.9.	Elección del agregado.....	116
3.11.10.	Ajuste por humedad del agregado	118

3.12.	Procedimiento para la elaboración de especímenes de concreto adicionando viruta de acero.....	120
3.12.1.	Procedimiento para preparación de la mezcla	122
3.12.2.	Procedimiento para el Vaciado del Concreto	123
3.12.3.	Curado de los especímenes de concreto.	126
3.13.	Asentamiento (Slump)	127
3.14.	Resistencia a la compresión	130
3.15.	Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas de los tercios del tramo.....	133
3.16.	Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central.	134
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN		137
4.1.	Ensayos de compresión.	137
4.1.1.	Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico de la Muestra patrón (Sin viruta de acero).....	138
4.1.2.	Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico con adición de viruta de acero (6%).	140
4.1.3.	Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico con adición de viruta de acero (8%).	142
4.1.4.	Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico con adición de viruta de acero (10%).....	144
4.1.5.	Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico con adición de viruta de acero (12%).....	146
4.1.6.	Comparación entre la muestra patrón y las muestras con adición de viruta de acero. 148	
4.2.	Ensayos de Flexión.....	151
4.2.1.	Resistencia a la flexión de vigas de los especímenes de la muestra patrón a los 28 días.	151

4.2.2.	Resistencia a la flexión de vigas de la muestra con 6% de adición de viruta de acero respecto al cemento a una edad de 28 días.	152
4.2.3.	Resistencia a la flexión de vigas de la muestra con 8% de adición de viruta de acero respecto al cemento a una edad de 28 días.	153
4.2.4.	Resistencia a la flexión de vigas de la muestra con 10% de adición de viruta de acero respecto al cemento a una edad de 28 días.	154
4.2.5.	Resistencia a la flexión de vigas de la muestra con 12% de adición de viruta de acero respecto al cemento a una edad de 28 días.	155
4.2.6.	Comparación del ensayo a la flexión de vigas.....	156
4.3.	Análisis de Resultados.....	157
4.4.	Análisis Estadístico	158
4.5.	Discusión	164
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		167
5.1.	Conclusiones	167
5.2.	Recomendaciones.....	170
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		173
CAPÍTULO VII: ANEXOS		176
7.1.	Anexo N° 01: Ensayo de los Agregados	176
7.1.1.	Análisis granulométrico por tamizado agregado fino (norma ASTM c-136 y NTP 400.037).....	176
7.1.2.	Análisis granulométrico por tamizado agregado grueso (norma ASTM C-136 Y NTP 400.037)	177
7.1.3.	Contenido de humedad del agregado fino y grueso (ASTM D-2216-80)..	178
7.1.4.	Peso específico y absorción del agregado (norma ASTM C-29 Y NTP 400.017)	179
7.1.5.	Peso unitario suelto del agregado fino (norma ASTM C-29 Y NTP 400.017)	180
7.1.6.	Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (norma ASTM C-29 Y NTP 400.017).....	180

7.2.	Anexo N° 02: Diseño de Mezclas	181
7.3.	Anexo N° 03: Resultados del Concreto Ensayados	185
7.3.1.	Ensayo resistencia a la compresión.....	185
7.3.2.	Ensayo resistencia a la flexión.....	193
7.4.	Anexo N° 04: Panel Fotográfico.....	198

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Cuadro comparativo entre Pavimento Flexible y Rígido.</i>	35
Tabla 2	<i>Requisitos físicos ASTM C-150 para cementos.</i>	57
Tabla 3	<i>Requisitos químicos ASTM C-150 para cementos.</i>	58
Tabla 4	<i>Características físicas de los cementos peruanos.</i>	59
Tabla 5	<i>Características químicas de los cementos peruanos.</i>	60
Tabla 6	<i>Límites granulométricos del agregado fino.</i>	63
Tabla 7	<i>Límite de graduación del Agregado Grueso.</i>	66
Tabla 8	<i>Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC 339.088.</i>	75
Tabla 9	<i>Caracterización de las mezclas de concreto.</i>	80
Tabla 10	<i>Incremento de valores de desviación estándar cuando se tiene menos de 30 ensayos.</i>	105
Tabla 11	<i>f'c aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación estándar.</i>	105
Tabla 12	<i>Valores requeridos para la granulometría del agregado grueso.</i>	108
Tabla 13	<i>Slump recomendado para diferentes tipos de construcción.</i>	110
Tabla 14	<i>Volumen unitario de agua</i>	111
Tabla 15	<i>Volumen unitario de agua.</i>	112
Tabla 16	<i>Relación Agua/cemento por Resistencia.</i>	114
Tabla 17	<i>Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.</i>	115
Tabla 18	<i>Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.</i>	117
Tabla 19	<i>Numero de capas requeridas en la elaboración de las mezclas.</i>	124
Tabla 20	<i>Diámetro de varilla y número de golpes por capa</i>	125
Tabla 21	<i>Tolerancias</i>	131
Tabla 22	<i>Resultados de la Resistencia a la compresión de la muestra patrón.</i>	138
Tabla 23	<i>Resultados de la Resistencia a la compresión (6% de viruta).</i>	140
Tabla 24	<i>Resultados de la Resistencia a la compresión (8% de viruta).</i>	142
Tabla 25	<i>Resultados de la Resistencia a la compresión (10% de viruta).</i>	144
Tabla 26	<i>Resultados de la Resistencia a la compresión (12% de viruta).</i>	146
Tabla 27	<i>Resultados a la flexión (muestra patrón).</i>	151
Tabla 28	<i>Resultados a la flexión (6% de adición).</i>	152

Tabla 29	<i>Resultados a la flexión (8% de adición).</i>	153
Tabla 30	<i>Resultados a la flexión de los tercios del tramo (10% de adición).</i>	154
Tabla 31	<i>Resultados a la flexión (12% de adición).</i>	155
Tabla 32	<i>Resultados a la flexión (comparación de resultados).</i>	156
Tabla 33	<i>Resultados de resistencia a la compresión de muestras con 10% de adición.</i> 159	
Tabla 34	<i>Dispersión total.</i>	161
Tabla 35	<i>Dispersión entre testigos.</i>	161
Tabla 36	<i>Tabla de frecuencias</i>	163

Índice de figuras

Figura 1.	<i>Estructura de un pavimento flexible.....</i>	34
Figura 2.	<i>Estructura de un pavimento rígido.....</i>	34
Figura 3.	<i>Deterioro de los pavimentos durante su ciclo de vida</i>	36
Figura 4.	<i>Esquema de pavimentos de concreto simple con juntas.....</i>	40
Figura 5.	<i>Esquema de pavimentos de concreto reforzado con juntas.....</i>	41
Figura 6.	<i>Pavimentos de concreto continuamente reforzado.</i>	41
Figura 7.	<i>Esquema de pavimentos de losas cortas.....</i>	42
Figura 8.	<i>Proporciones en volumen de los componentes del concreto.</i>	53
Figura 9.	<i>Condiciones de saturación del agregado.</i>	68
Figura 10.	<i>Testigos de concreto para ensayos.</i>	79
Figura 11.	<i>Correlación de probetas ensayadas a compresión y vigas a flexión.....</i>	79
Figura 12.	<i>Elaboración Vía Alto horno</i>	85
Figura 13.	<i>Elaboración Vía Horno Eléctrico.....</i>	85
Figura 14.	<i>Flujo Esquemático de la fabricación del acero.</i>	86
Figura 15.	<i>Formas de las fibras de acero.</i>	88
Figura 16.	<i>Diseño experimental.</i>	95
Figura 17.	<i>Procedimiento de obtención de muestras representativas.....</i>	97
Figura 18.	<i>Molde para determinar el Asentamiento</i>	128
Figura 19.	<i>Varilla compactadora</i>	128
Figura 20.	<i>Procedimiento para el asentamiento del concreto fresco.....</i>	129
Figura 21.	<i>Esquemas de tipos de falla.</i>	133
Figura 22.	<i>Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz.....</i>	133
Figura 23.	<i>Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz.</i>	135
Figura 24.	<i>Gráfico de barras de especímenes de concreto de la muestra patrón....</i>	139
Figura 25.	<i>Curva de $f'c$ a los 7, 14 y 28 días de la muestra patrón.</i>	139
Figura 26.	<i>Gráfico de barras de especímenes de concreto con 6% de viruta.</i>	141
Figura 27.	<i>Curva de $f'c$ a los 7, 14 y 28 días de la muestra con 6% de viruta.</i>	141
Figura 28.	<i>Gráfico de barras de especímenes de concreto con 8% de viruta.</i>	143
Figura 29.	<i>Curva de $f'c$ a los 7, 14 y 28 días de la muestra con 8% de viruta.</i>	143
Figura 30.	<i>Gráfico de barras de especímenes de concreto con 10% de viruta.</i>	145
Figura 31.	<i>Curva de $f'c$ a los 7, 14 y 28 días de la muestra con 10% de viruta.</i>	145

Figura 32.	<i>Gráfico de barras de especímenes de concreto con 12% de viruta.</i>	147
Figura 33.	<i>Curva de $f'c$ a los 7, 14 y 28 días de la muestra con 12% de viruta.</i>	147
Figura 34.	<i>Resultados de Resistencia a la compresión por edades comparados con la muestra patrón.</i>	148
Figura 35.	<i>Gráfico comparativo de las resistencias a la compresión por edades comparados con la muestra patrón.</i>	149
Figura 36.	<i>Curvas comparativas entre los especímenes de concreto.</i>	150
Figura 37.	<i>Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra patrón.</i>	151
Figura 38.	<i>Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra con 6%.</i>	152
Figura 39.	<i>Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra con 8%.</i>	153
Figura 40.	<i>Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra con 10%.</i>	154
Figura 41.	<i>Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra con 12%.</i>	155
Figura 42.	<i>Gráfico de barras comparación del ensayo a la flexión entre las distintas muestras.</i>	156
Figura 43.	<i>Distribución normal.</i>	163

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje de vacíos.....	69
Ecuación 2. Porcentaje de absorción.....	70
Ecuación 3. Contenido de humedad.....	71
Ecuación 4. Módulo de ruptura.....	78
Ecuación 5. Desviación estándar.....	106
Ecuación 6. Promedio estadístico de la desviación estándar.....	106
Ecuación 7. Resistencia a la compresión requerida	107
Ecuación 8. Resistencia a la compresión requerida	107
Ecuación 9. Media Aritmética.....	160
Ecuación 10. Varianza.....	160
Ecuación 11. Rango estadístico	162
Ecuación 12. Clase o intervalos.....	162
Ecuación 13. Amplitud de clase	163

RESUMEN

El presente trabajo de tesis consistió en determinar las propiedades del concreto fresco y endurecido, adicionando viruta de acero, procedente del maquinado de piezas metálicas. Para la investigación, se utilizó el procedimiento para diseñar la mezcla de concreto normal del comité ACI-211.1-91. Primero se diseñó una muestra patrón de 280 kg/cm² y luego muestras de concreto con adición del 6%, 8%, 10% y 12% de viruta de acero. Se realizó probetas de concreto y vigas de concreto con viruta de acero adicionada; se determinaron las propiedades mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido, se ensayaron los testigos, de acuerdo a la normativa vigente. Se llegó a la conclusión que la viruta de acero mejora las propiedades tanto a compresión como a flexión del concreto, obteniendo una mejor resistencia tanto a la compresión como a la flexión con la adición del 10%.

ABSTRACT

The present thesis work consisted in determining the properties of the fresh and hardened concrete, adding steel shavings, from the machining of metal parts. For the investigation, the procedure was used to design the normal concrete mix of the ACI-211.1-91 committee. First a standard sample of 280 kg / cm² was designed and then concrete samples with the addition of 6%, 8%, 10% and 12% steel chips. Concrete specimens and concrete beams with added steel chip were made; the mechanical properties of the concrete in the fresh and hardened state were determined, the controls were tested, according to current regulations. It was concluded that the steel chip improves both the compression and flexural properties of the concrete, obtaining a better resistance to both compression and bending with the addition of 10%.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La red vial en el Perú está formado en su mayor parte por pavimentos flexibles los cuales se presentan su estructura común conformada por la sub-rasante, una capa sub-base, una capa base y una carpeta asfáltica de rodamiento, pero también existen pavimentos rígidos, aunque en su minoría, también conformado en su estructura común; por una sub-rasante, una capa subbase, una capa base y una capa de concreto; debido a su alto costo de ejecución y a un extensivo proceso constructivo, son los pavimentos menos usados en el Perú y en nuestra localidad, su construcción es recomendado para zonas de alto tránsito vehicular, y donde transitan vehículos pesados, brindando una mayor vida útil que los pavimentos flexibles, ya que también se requiere de un mantenimiento menos en su estructura.

Es por ello que la investigación científica en la actualidad apunta al objetivo de **mejorar la calidad del concreto hidráulico utilizados en los pavimentos rígidos**, con el fin de que sean más duraderos y reduzca sus costos de mantenimiento.

La presente investigación tiene capítulos los cuales se detallan a continuación:

En el CAPITULO I, se muestra los antecedentes, la formulación del problema, objetivos de la investigación, Hipótesis, justificación de la investigación y limitaciones de la investigación.

En el CAPITULO II, encontramos todo el marco y aspectos teóricos, tomados de diversos autores, comparando y analizando su aporte a la investigación.

En el CAPITULO III, encontramos los materiales empleados en la investigación, la metodología de la investigación detallando el diseño de investigación, población y muestra, los instrumentos y procedimiento de recolección de datos.

En el CAPITULO IV, presentamos los Resultados de todas las pruebas realizadas para la elaboración de la investigación con sus respectivas discusiones.

En el CAPITULO V detallamos las conclusiones y recomendaciones.

En el CAPITULO VI se encuentran las referencias bibliográficas y virtuales.

Finalmente, en el CAPITULO VII presentamos los Anexos que incluyen fotografías, memorias de cálculos y certificados, los cuales justifican los resultados obtenidos en la investigación.

1.1. Antecedentes:

García y Sarmiento (2008), en su tesis “Mejoramiento de un concreto de 3000 psi con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la mezcla”, investigaron la adición de virutas de acero en la preparación de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ para mejorar su resistencia.

De la investigación se demostró un aumento considerable en la resistencia del concreto con adición de virutas de acero, con el 10% de adición de viruta reemplazando el agregado fino. El resultado obtenido de incremento en la resistencia a la compresión comparado a la muestra patrón fue de un 62%, lo que afirma que, si se diseña un concreto capaz de soportar una resistencia de 21 MPa, se obtendrá, con una adición de virutas de acero del 10% reemplazando el agregado fino de la mezcla, una resistencia final aproximada de 36 MPa. Lo cual

es un resultado bastante aceptable y por esto se optó por continuar con este tipo de investigación para corroborar que tan acertados son estos resultados.

Mazza & Flores (2014), en su tesis utilización de conchas de abanico como mejoramiento de sus propiedades resistentes del concreto, investigaron la adición en la preparación de concretos de resistencia $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$, porcentajes graduales de conchas abanico calcinadas y molidas. Realizaron ensayos de cada uno de los agregados según lo establece el reglamento nacional de edificaciones, posteriormente con los resultados obtenidos de laboratorio se formuló el diseño de mezclas para resistencias $f'c=175\text{kg/cm}^2$ y $f'c=210\text{kg/cm}^2$, las cuales fueron las mezclas patrones. Posteriormente se realizaron adiciones a diferentes porcentajes 5%, 10% y 15%, que también se prepararon testigos cilíndricos para ser ensayados a edades de 7, 14, 21 y 28 días.

Las conclusiones que llegaron para concreto $f'c=175\text{kg/cm}^2$ se obtuvo asentamientos de 0%, 3.4%, 3% y 2.5% para adiciones de 0% 5%, 10% y 15%, respectivamente; así mismo las adiciones de residuos calcáreos en rangos del 5% al 15%, mejoraron la resistencia mayor en 5% con relación a la resistencia inicial; así mismo para el concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ la resistencia aumenta en la adición de residuos calcáreos en 5% a 10% en un 9.4%.

Chumpitaz Quispe.S.C. (1993) desarrollo su tesis con el objetivo de determinar las propiedades de las unidades de albañilería utilizando como materia prima la dolomita, donde se determinó las características físicas, químicos y estabilidad de volumen de la misma, también ubicó las canteras de la zona, indicando que tiene un alto contenido de óxido de cal comparado con la fabricación de

unidades de albañilería de otro tipos de agregados se demostró que la unidad de albañilería con la dolomita produce mayor resistencia.

Determinando la dosificación de la dolomita con el cemento tipo I, los análisis físicos se realizaron en laboratorios de la UNI demostrando que no presentan elementos que puedan dañar el concreto ni rasgos que pueda presentar eflorescencia, también recomienda realizar este estudio para cada cantera a fin de determinar las características individuales y realizar un uso adecuado.

El método aplicado fue el experimental.

Pérez (2012), Concluyó en su investigación, en la que estudiaba la alteración que causa la incorporación de cenizas volantes de carbón en un suelo arcilloso, con el objetivo de emplearlas en sus obras viales. La ceniza volante es un material desechado, que proviene de la planta termoeléctrica localizada en Ilo, Moquegua. Lo cual, como ya se sabe, éste desecho genera un problema medio ambiental.

Aquí se elaboraron estudios de laboratorio para caracterizar las siguientes mezclas: la ceniza volante, las mezclas suelo-ceniza volante y suelo – ceniza volante – cemento, cuyo objetivo es calificar su comportamiento geotécnico. Se reafirma que la mezcla de ceniza volante con el suelo arcilloso estudiado, como también la adición de cemento, muestran un mejor comportamiento que el suelo natural para su empleo como superficie de subbase y subrasante mejorada destinada a los pavimentos. Se evaluó factores como; tiempo de fraguado y curado, tiempo de compactación y vibración, cantidad de agua, entre otros factores que son parámetros en el comportamiento de la mezcla (p. 74). Las estructuras típicas de un pavimento rural, tanto con un suelo natural arcilloso y

con suelo estabilizado, se relacionaron mediante el método NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities).

El trabajo de investigación encuentra una viabilidad técnica y económica para la utilización de cenizas volantes de carbón en la construcción de pavimentos y como material opcional en la estabilización de suelos. (p. 79).

A. García Cabrera (2007) en su investigación “Factibilidad de sustitución del agregado fino del concreto por fibras de termoplásticos y elastómeros reciclados”.

La investigación tuvo como propósito el desarrollo de nuevas mezclas de concreto hidráulico tradicional, reemplazando el agregado fino por elastómeros procedentes de algunas bandas de neumáticos, y por fibras de Polipropileno (PP) y Nylon reciclados. Esto con el objeto de buscar un uso adecuado a estas mezclas de concreto para aplicarlas en la rama de la construcción.

Se elaboró una mezcla tradicional de concreto, 4 mezclas en la cual se reemplazó en proporciones del 0,5% y el 1% el agregado fino por la fibra de polímero termoplástico y 5 mezclas en la cual se reemplazó con el 1%, 3%, 6%, 12% y 18% del agregado fino por el elastómero. Luego se realizó una mezcla en donde se reemplazó el agregado fino por 1% de la fibra de Nylon y 6% de caucho.

Después de esto, los pruebas y dimensionamiento valieron para determinar las características de cada mezcla, ya sea en estado fresco como en estado endurecido. Por todo, se concluyó que es bastante aceptable hacer una mezcla ternaria proporcionando concreto/ nylon/ caucho, lo cual es una sustitución de un porcentaje de agregado fino (arena) por estos materiales reciclados, ya que los productos logrados muestran que se puede mantener y optimizar algunas

cualidades de las mezclas de concreto tradicional. Aparte del desarrollo de las propiedades mecánicas también se consiguen combinar la gran cantidad disponible que actualmente se tiene de estos materiales reciclados y el económico costo de adquisición, todas las cualidades precisas para llevar a cabo nuevas aplicaciones.

1.2. Formulación del problema

En el Perú como en el resto del mundo el concreto es un material compuesto que viene empleándose en la construcción, esta mezcla es usada en grandes cantidades debido a las muchas ventajas que presenta, por otra parte, la búsqueda de la materia prima para la producción diaria de este material, contribuye a la depredación de los suelos. Considerando también que la producción del concreto genera residuos y excedentes.

En la actualidad, el uso de adiciones para mejoras de las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido, cada vez son utilizados con mucha más frecuencia de acuerdo al tipo de obra que se requiera. Todo esto conlleva a una mayor demanda de estos aditivos, los cuales pueden ser de origen orgánico o inorgánico, por ello las investigaciones realizadas y proyectadas están poniendo más énfasis en el uso de materiales reciclados que faciliten la elaboración y contribuyan a la mejora de las propiedades del concreto en general. Para lo cual esta investigación brinda la alternativa de adicionar un material residual extraído del cepillado y/o perforación del acero, con la finalidad de que al ser adecuado a la mezcla del concreto, se obtenga mejores propiedades mecánicas del concreto hidráulico que se usará para pavimentos; teniendo en cuenta que el mismo puede llegar a disminuir los costos, así como

mitigar los problemas del medio ambiente causados por los residuos de acero y reducir la depredación de suelos con la explotación de las canteras.

Ante todas estas situaciones nos vemos en la necesidad de plantearnos la siguiente pregunta:

¿En qué medida la viruta de acero ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del concreto hidráulico en pavimentos rígidos, en el distrito de Chimbote?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Elaborar concreto hidráulico para pavimentos adicionando viruta de acero para la mejora de sus propiedades mecánicas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la dosificación óptima para la elaboración de concreto hidráulico.
- Analizar las características, propiedades físicas y mecánicas de los agregados utilizados en la preparación del concreto hidráulico.
- Elaborar concreto incorporando diferentes porcentajes de viruta de acero.
- Cuantificar y comparar, con varias dosificaciones de viruta de acero las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico en su estado fresco y endurecido.

1.4. Formulación de la hipótesis

Si incorporamos virutas de acero con una adecuada dosificación, en la elaboración de concreto hidráulico para pavimentos, este concreto mejora sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

1.4.1. Variables e indicadores de la investigación

1.4.1.1. Variable dependiente

- Propiedades mecánicas del concreto hidráulico.

1.4.1.2. Variable independiente

- Distintos Porcentajes de Adición de virutas de acero.

1.5. Justificación

Con este proyecto de investigación se posibilita la utilización de materiales reciclados como adiciones para mejorar las propiedades del concreto hidráulico, considerando a la viruta de acero, ya que estos desechos tienen un gran impacto ambiental, si no es eliminada correctamente, su fin puede causar la degradación de la tierra, el aire o el agua. Por lo que se plantea reutilizar estos residuos mitigando así la contaminación ambiental y a la vez se estará innovando en la producción de concreto que se utilizará para pavimentos rígidos.

1.6. Limitaciones del trabajo

1.6.1. Limitación espacial

En esta investigación se elaboró concreto con adición de virutas de acero recicladas y concreto convencional para pavimentos de resistencia $f'c$: 280 kg/cm² como muestra patrón, los ensayos para obtener las propiedades mecánicas de dichos concretos se realizarán en el laboratorio de mecánica de suelos y el laboratorio de concreto de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa. Además, se tendrá en cuenta que los agregados y materiales para la elaboración de concreto, así como la viruta de acero son procedentes del departamento de Ancash.

- Cemento Pacasmayo Tipo I

- Agregado grueso (piedra zarandeada $\frac{3}{4}$ "") de la cantera “Piedra Lisa”
- Agregado fino de la cantera “Piedra Liza”
- Virutas de acero procedente del torno Stysa.

1.6.2. Limitación temporal

La duración de la investigación comprenderá un lapso entre el mes de agosto hasta el mes de diciembre del año 2019.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Pavimentos

Los pavimentos son estructuras que conforman parte del sistema de redes viales, estas obras de ingeniería son diseñadas y ejecutadas con la finalidad de mejorar y mantener la buena calidad de la transitabilidad por un largo periodo de tiempo. Este tipo de estructuras en su mayoría están destinadas a satisfacer el tránsito cómodo y seguro de los vehículos, proporcionándoles velocidades operacionales bajo cualquier condición climática.

Estas estructuras están conformadas por capas preparadas superpuestas entre sí, destinadas a soportar y transmitir hacia el terreno natural las cargas provenientes del tráfico.

Mario Becerra Salas (2012) en su libro titulado “Tópicos de Pavimentos de Concreto” define lo siguiente:

El pavimento está diseñado para transferir y distribuir cargas vehiculares, durante un periodo de tiempo previamente establecido. Dado que, los esfuerzos producidos por el paso de las cargas vehiculares decrecen con la profundidad, se deben colocar los materiales de mayor capacidad portante en las capas superiores. Toda la estructura trabaja para proteger al suelo natural (p. 5).

2.1.1. Tipos de pavimentos.

Por lo general podemos distinguir dos tipos de pavimentos. Diferenciados por la forma en la que transmiten las cargas del tráfico.

- *Pavimentos flexibles.*

Son aquellos que están conformados por capas de material granular de diferentes calidades y espesores; estas capas adyacentes denominadas base y subbase están revestidas superficialmente por una carpeta de rodadura elaborada con concreto asfáltico. Esta estructura de capas absorbe de manera proporcional las tensiones verticales y las transmiten a la subrasante o terreno de cimentación.

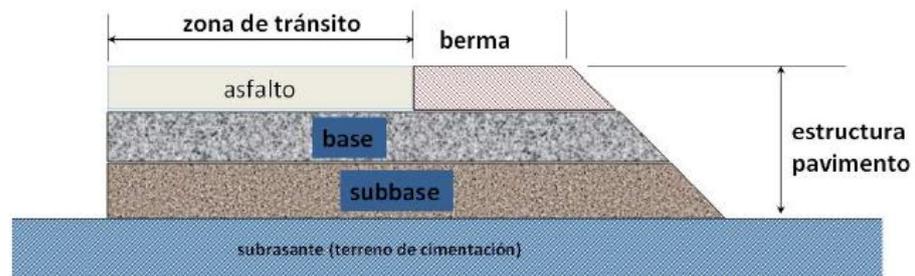


Figura 1. Estructura de un pavimento flexible.

Fuente. *Tópicos de Pavimentos de Concreto*, Mario Becerra S., 2012.

▪ **Pavimentos rígidos.**

Son aquellas estructuras en donde predomina la losa de concreto hidráulico, esta logra absorber una mayor proporción de las cargas de tránsito ya que posee una elevada resistencia a la flexión y compresión. De tal manera que reduce el número y espesor de capas granulares.

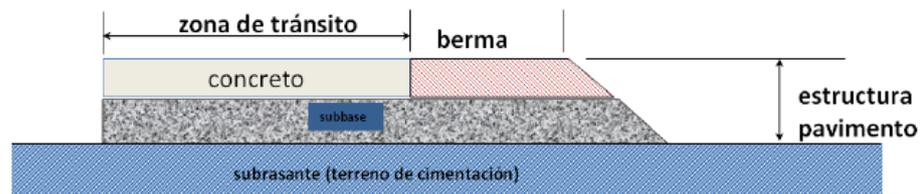


Figura 2. Estructura de un pavimento rígido.

Fuente. *Tópicos de Pavimentos de Concreto*, Mario Becerra S., 2012.

Evaluándose el comportamiento funcional y estructural de los pavimentos, ambos tipos desarrollan un comportamiento inversamente proporcional

ante los factores objetivos del diseño y construcción. Los pavimentos flexibles en su mayoría brindan mayor funcionalidad, es decir, siendo el tipo de pavimento más económico inicialmente, ofrece más comodidad y seguridad para el tránsito, mientras que en el pavimento rígido destaca el comportamiento estructural, ya que este tiende a tener mayor tiempo de vida útil.

Tabla 1

Cuadro comparativo entre Pavimento Flexible y Rígido.

Pavimento Flexible	Pavimento Rígido
- Vida estimada de servicio entre 10 a 20 años.	- Vida estimada de servicio entre 20 a 30 años (en Lima hasta 50 años)
- Costos iniciales bajos.	- Costos iniciales altos.
- Requiere mantenimiento continuo.	- Requiere mantenimiento continuo pero mínimo (primordialmente en las juntas).
- Reparación fácil pero continua si no se hace mantenimiento.	- Reparación difícil pero esporádica.

Fuente. *Introducción a la ingeniería de pavimentos, Ing. Andrés Sotil Ch.*

Un factor principal del comportamiento del pavimento es el uso de materiales clasificados y el buen desempeño del proceso constructivo, según las normas establecidas y las especificaciones técnicas del diseño. Así mismo se debe considerar los factores externos ambientales que deterioren o afecten el buen estado del pavimento durante su ciclo de vida.

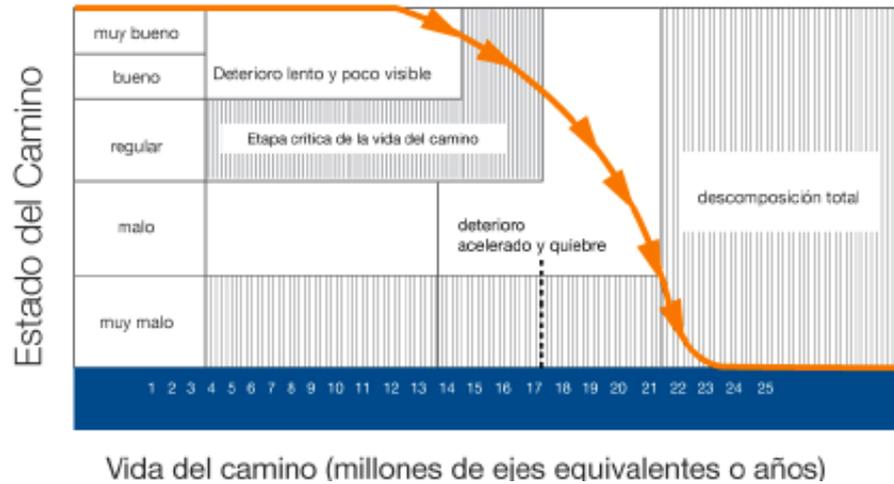


Figura 3. *Deterioro de los pavimentos durante su ciclo de vida*
 Fuente. *Tópicos de Pavimentos de Concreto*, Mario Becerra S., 2012.

2.2. Pavimentos Rígidos.

Desde fines del siglo XIX los pavimentos de concreto hidráulico vienen siendo una alternativa de construcción en las vías de comunicación en todo el mundo, con el paso del tiempo este método ha ido evolucionando en mejoras de calidad; convirtiéndose en una alternativa de solución ante el deterioro rápido de las estructuras viales, ya que esta estructura posee cualidades de durabilidad y resistencia; economizando costos de mantenimientos.

2.2.1. Pavimentos rígidos en el Perú

Algunas notas relevantes:

En 1915, la constructora norteamericana Foundation Co. se establece en el Perú para ejecutar los proyectos del Terminal marítimo del Callao y la pavimentación de Lima incluyendo a la autopista Lima – Callao, antiguamente conocida como avenida El Progreso y que hoy recibe el nombre de Avenida Venezuela. En su plan de trabajo, La Foundation Co compró los primeros hornos para la producción de cemento nacional, que

finalmente vende en 1916 a la Compañía Peruana de Cemento Pórtland. La nueva cementera se instala en el Rimac constituyéndose en la primera planta de fabricación nacional y empleando para ello las calizas de Atocongo. Entre 1955 y 1975 se crean las principales empresas productoras de cemento en el país: Chilca, Lima, Andino, Chiclayo, Pacasmayo, Sur y Yura, pero sin llegar a consolidarse técnicamente hasta fines de los setentas. (Enrique Pasquel, 1998, p. 17)

Con la materia prima ya en el país, el concreto comienza a hacer su aparición en los primeros pavimentos rígidos del Perú.

El primer pavimento de concreto que se construye en el Perú corresponde a la carretera Lima-Callao, denominada posteriormente como Av. Progreso y luego como Av. Venezuela, cuando se incorporó al casco urbano de la capital. La construcción y puesta en servicio de este de este pavimento se efectuó en el año de 1924, situándolo como uno de los primeros pavimentos de concreto en Latinoamérica (Becerra Salas, 2012, p. 14).

También “Una obra muy importante que podemos recorrerla hasta el día de hoy es la Vía Expresa de Lima. Obras que han perdurado por los años y han demostrado la alta durabilidad del concreto como alternativa para pavimento” (Carlos Mori, 2016, párr. 7)

2.1.1.1. El problema del pavimento rígido en el Perú

Si damos un vistazo al estado de nuestras carreteras y caminos vecinales en cuanto a su estado actual pavimentado, nos enfrentamos a un alto déficit de vías pavimentadas, lo que nos hace reflexionar en

cuanto al rol de la gestión del gobierno y la adecuada evaluación de las diferentes alternativas que existen para pavimentar estas vías, ya que las infraestructuras y los servicios de transporte deben cumplir con ser eficientes, rentables, confiables y ecológicamente sostenibles (Mori, 2016, párr. 3).

Lo que toda entidad administradora debe tener claro es, que para ser más competitivos como país tenemos que aprovechar las ventajas de ambas alternativas de pavimentación. Sin embargo, debido a la poca información y difusión en materia de diseño, construcción, supervisión, y evaluación de pavimentos de concreto, esta alternativa es prácticamente descartada (Becerra Salas, 2012, p. 21).

2.2.2. Ventajas del pavimento rígido.

El uso del pavimento rígido en la construcción de redes viales es un método sostenible ya que siendo el asfalto un derivado del petróleo, se reduce considerablemente su explotación, contribuyendo al cuidado del medio ambiente. Entre otras de las ventajas tenemos:

- Durabilidad.
- La textura rugosa de la superficie brinda mejor adherencia entre el pavimento y los neumáticos.
- Resistencia e indeformabilidad.
- Mayor visibilidad, ofrece mayor iluminancia que el asfalto.
- Reduce el efecto del calor, debido al color claro.
- Reciclable.
- Ahorro de energías en el proceso de construcción.

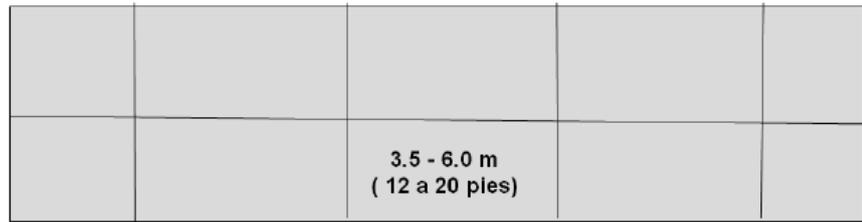
En el artículo técnico: “Comparación a nivel de costos de inversión inicial entre las alternativas de pavimentación flexible y rígida”, expuesta por el autor en el “II Congreso Internacional de Pavimentos de Hormigón realizado en noviembre del 2011 en Florianópolis – Brasil”, se muestra la capacidad de los pavimentos de concreto JPCP, sobre todo para situaciones de tránsito elevado y suelo con CBR < 10% al 95% de máxima densidad seca. En este escrito se concluyó que existe un cambio de +/- 20% respecto a los costos en la construcción entre ambas alternativas.

2.2.3. Tipos de pavimentos rígidos.

2.2.3.1. Pavimentos de concreto simple con juntas (JPCP).

Se le conoce como JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement, por sus siglas en inglés). En este tipo de pavimentos se requieren realizar juntas de contracción transversal que, en teoría, están espaciadas entre 3.5 y 6.0 m. La transferencia de carga entre paños adyacentes se puede dar mediante trabazón de agregados o mediante el empleo de pasadores. Las juntas inducen el agrietamiento, propio del comportamiento del concreto, por las tensiones originadas debido a los cambios de temperatura y humedad que experimenta la carpeta de rodadura. Aunque la teoría indica que se pueden alcanzar espaciamientos de 6.0 m, por la experiencia recogida en numerosos proyectos viales, se recomienda no superar los 4.5 m de espaciamiento entre paños (Becerra Salas, 2012, p. 35).

Planta



Perfil

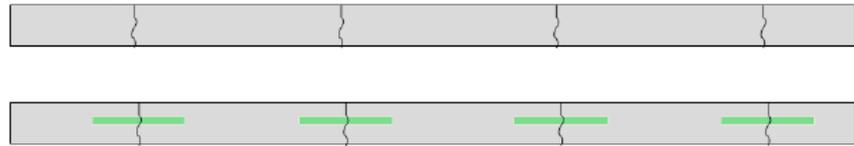
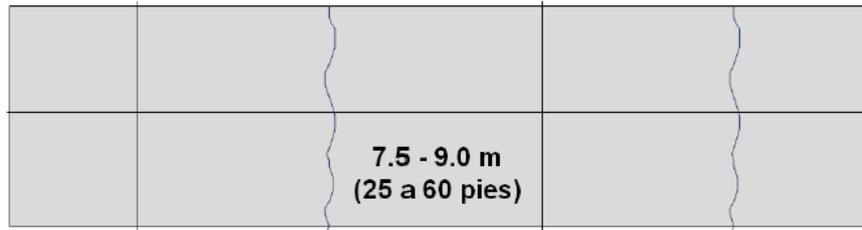


Figura 4. Esquema de pavimentos de concreto simple con juntas.
Fuente. *Tópicos de Pavimentos de Concreto*, M. Becerra Salas, 2012.

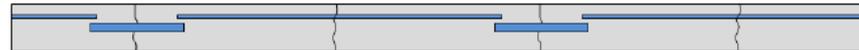
2.2.3.2. Pavimentos de concreto armado con barras transversales.

Se le conoce como JRCP (Jointed Reinforced Concrete Pavement, por sus siglas en inglés). La carpeta de rodadura es de concreto reforzado con mallas de acero, permitiendo ampliar los espaciamientos entre las juntas transversales de contracción, llegando a distancias entre 7.5 y 9.0 m. Aunque tiene refuerzo moderado de acero, se espera que se produzcan fisuras controladas dentro de los paños. La transferencia de carga entre paños adyacentes se realiza mediante el empleo de pasadores. Las nuevas metodologías de diseño ya no lo consideran. (Becerra Salas, 2012, p. 36)

Planta



Perfil



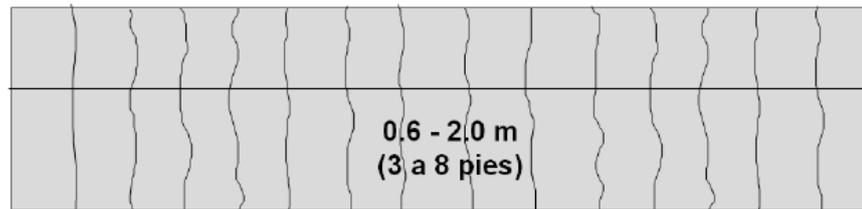
0.2 a 0.3% de acero

Figura 5. Esquema de pavimentos de concreto reforzado con juntas.
Fuente. *Tópicos de Pavimentos de Concreto*, M. Becerra Salas, 2012.

2.2.3.3. Pavimentos de concreto continuamente reforzados (CRCP).

Se les conoce como CRCP (Continuously Reinforced Concrete Pavement, por sus siglas en inglés). Las tensiones son controladas por una armadura de acero de bastante cuantía. Se espera la aparición de fisuras controladas a lo largo de todo el pavimento, con distancias que fluctúan entre 0.6 y 2.0 m. Es un pavimento bastante usado en Europa. (Becerra Salas, 2012, p. 36)

Planta



Perfil



0.6 a 0.8% acero

Figura 6. Pavimentos de concreto continuamente reforzado.
Fuente. *Tópicos de Pavimentos de Concreto*, M. Becerra Salas, 2012.

2.2.3.4. Pavimentos de concreto con losas cortas (Optipave).

Es un tipo de pavimento que nace empíricamente en zonas de altura, donde los gradientes de temperatura y humedad son bastante altos. Tiene la particularidad de trabajar con losas de mucho menores dimensiones: 1.8 X 1.8 (aunque puede variar). Tiene dos objetivos principales: (1) Controlar la fisuración debido a condiciones climáticas extremas; (2) Optimizar espesores, dado que los esfuerzos de flexión que gobiernan la metodología de diseño convencionales, son desplazados por los esfuerzos de compresión, en los que el concreto se comporta bastante bien, permitiendo reducir espesores (con la economía que ello involucra), para un mismo comportamiento esperado. (Becerra Salas, 2012, p. 37)

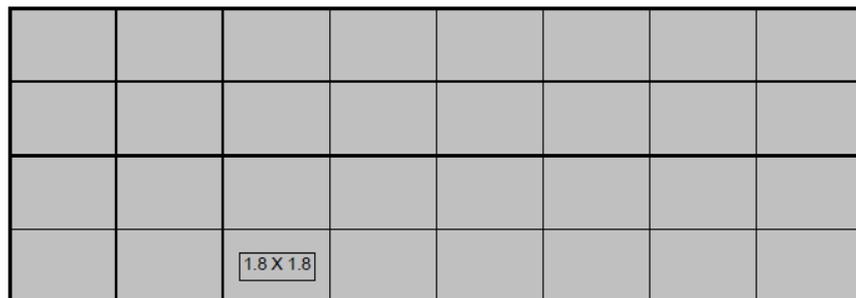


Figura 7. Esquema de pavimentos de losas cortas.
Fuente. *Tópicos de Pavimentos de Concreto*, M. Becerra Salas, 2012.

En los tres primeros tipos de pavimentos de concreto (convencionales) se puede apreciar la tendencia por incrementar el espaciamiento entre juntas transversales. Esto debido a que las juntas son – a criterio de muchos especialistas - el punto más vulnerable de los pavimentos de concreto. Por las juntas ingresan materiales incompresibles que restringen el movimiento de los paños de concreto, por las juntas ingresa agua que

erosiona las capas inferiores de soporte. Además, históricamente las juntas eran las responsables del bajo confort percibido por los usuarios de los pavimentos de concreto. Naturalmente, teniendo juntas con espesores mayores de 2 cm., y que eran selladas con asfalto en frío, se formaban barreras naturales y obstáculos para los vehículos que hacían incómodo transitar por el pavimento. Afortunadamente, con las nuevas tecnologías de corte de juntas, ahora se conciben con espesores de 6 mm, eliminando este tipo de problemas. (Becerra Salas, 2012, p. 38)

2.2.4. Elementos de los pavimentos rígidos.

2.2.4.1. Subrasante.

La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. (Montalvo Farfán, 2016, p. 19)

Es el suelo de cimentación del pavimento, pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado; o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimiento del diseño geométrico de la vía a proyectar. (Becerra Salas, 2012, pp. 42 – 43)

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular, tales como: GW, GP, SW, SM, ML o incluso SC, siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad. Antes de ser empleado debe ser perfilado y compactado entre el 95 y 100% de la máxima densidad seca obtenida con el

ensayo proctor estándar AASHTO T-99. En caso el suelo natural este conformado por suelos finos y plásticos como CL, MH, CH, CL – ML, con LL entre 50 y 100% se analizará la necesidad de mejorarlos reduciendo su LL para mejorar así el IP. Se recomienda $IP < 10$. Si el suelo natural está conformado por suelos tipo MH, CH y OH con LL de 100% será reemplazado por material de préstamo en un espesor mínimo de 30 centímetros. (Becerra Salas, 2012, p. 43)

Los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos adecuados y estables con $CBR \geq 6\%$. En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante, tenga un $CBR < 6\%$ (subrasante pobre o subrasante inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se analizará según la naturaleza del suelo alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo del suelo de cimentación, estabilización química de suelos, estabilización con geosintéticos, elevación de la rasante, cambiar el trazo vial, eligiéndose la más conveniente técnica y económica. (Montalvo Farfán, 2016, p. 20).

2.2.4.2. Subbase.

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de buena gradación. También deberá ser perfilada y compactada entre el 95 y 100% de su máxima densidad

seca mediante el ensayo Proctor Estándar. El empleo de subbase implica una mejora en la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una reducción del espesor de carpeta de rodadura. Sin embargo, el impacto no es significativo. (Becerra Salas, 2012, p. 43)

La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado. (Cubas Becerra, 2018, p. 8)

2.2.4.3. Base.

En el caso de los pavimentos de asfalto es común que se contemple material de base adicional. En el caso de los pavimentos de concreto no es común, pero podría darse el caso en situaciones extremas. Constituye entonces la capa intermedia entre la subbase y la carpeta de rodadura. Utiliza materiales granulares de excelente gradación. (Becerra Salas, 2012, p. 44)

2.2.4.4. Carpeta de rodadura o losa.

Está conformada por mezcla de concreto hidráulico. Los métodos de diseño especifican diseños de mezcla con Módulo de Rotura a la

Flexión (MR) superiores a 42 Kg/cm², o su equivalente a $f'c = 280$
- 320 Kg/cm². (Becerra Salas, 2012, p. 44)

2.2.4.5. Las juntas.

Las juntas son longitudinales y transversales y tienen el rol de inducir fisuras por contracción del concreto, aislar el movimiento de los paños de elementos ajenos al pavimento, como buzones por ejemplo, siendo incluso parte del procedimiento constructivo. Son los puntos débiles de los pavimentos, pues permiten el ingreso de líquidos que puedan erosionar las capas de cimentación, o materiales incompresibles, que restrinjan el movimiento. Por ello además de ser concebidas éstas deben ser selladas y mantenidas con cierta frecuencia. (Becerra Salas, 2012, p. 44)

2.2.5. Fallas en los pavimentos rígidos.

Tenemos los siguientes tipos de fallas:

2.2.5.1. Fallas funcionales.

Son leves relativamente, cuando un pavimento ha perdido su función inicial o asignada de antemano, se acepta que tiene falla funcional; generalmente está localizada en la capa superficial del pavimento y causa cierta incomodidad en los pasajeros que transitan la vialidad. Pueden detectarse por simple observación visual. Entre las principales fallas funcionales tenemos: escalonamiento que es la principal causa de la rugosidad, superficie pulida, baches pequeños,

fisura miento por retracción, desintegración, etc. (Núñez Guevara, 2018, pp. 10-11)

2.2.5.2. Fallas estructurales.

Pueden originarse en una o varias capas del pavimento, son graves, consisten en el rompimiento del pavimento por la falla estructural de alguna o varias de sus capas o por la incapacidad del suelo que lo soporta. Estos deterioros cuando están muy avanzados, imposibilitan al pavimento para resistir las cargas que se le imponen en la superficie. (Núñez Guevara, 2018, p 11).

El autor Nuñez Guevara (2018) describe las siguientes fallas principales:

- ***Fallas por defectos constructivos:*** Se trata de pavimentos que quizá estuvieron formados por materiales suficientemente resistentes, pero en cuya construcción se han producido errores o defectos que afectan el comportamiento conjunto.
- ***Fallas por fatiga comunes en los pavimentos Rígidos:*** Existen distintas fallas comunes en los pavimentos, fallas por cortante, agrietamiento longitudinal, consolidación del terreno de cimentación.
- ***Consolidación del terreno de cimentación:*** La consolidación del terreno de cimentación produce distorsión del pavimento independientemente de los espesores o de su condición

estructural. Se puede producir agrietamientos longitudinales y con trayectoria circular.

- **Blow up – Buckling:** Ocurren en tiempo cálido, usualmente en una grieta o junta transversal que no es lo suficientemente amplia para permitir la expansión de la losa. Por lo general, el ancho insuficiente se debe a la infiltración de materiales incompresibles en el espacio de la junta. Cuando la expansión no puede disipar suficiente presión, ocurrirá un movimiento hacia arriba de los bordes de la losa (Buckling) o fragmentación en la vecindad de la junta. También pueden ocurrir en los sumideros y en los bordes de las zanjas realizadas para la instalación de servicios públicos.
- **Grieta en esquina:** Una grieta de esquina es una grieta que intercepta las juntas de una losa a una distancia menor o igual que la mitad de la longitud de la misma en ambos lados, medida desde la esquina. Por ejemplo, una losa con dimensiones de 3.70 m por 6.10 m presenta una grieta a 1.50 m en un lado y a 3.70 m en el otro lado, esta grieta no se considera grieta de esquina sino grieta diagonal; sin embargo, una grieta que intercepta un lado a 1.20 m y el otro lado a 2.40 m si es una grieta de esquina. Una grieta de esquina se diferencia de un descascaramiento de esquina en que aquella se extiende verticalmente a través de todo el espesor de la losa, mientras que el otro intercepta la junta en un ángulo. Generalmente, la repetición de cargas combinada con la perdida

de soporte y los esfuerzos de alabeo originan las grietas de esquina.

- **Losa Dividida:** La losa es dividida por grietas en cuatro o más pedazos debido a sobrecarga o a soporte inadecuado. Si todos los pedazos o grietas están contenidos en una grieta de esquina, el daño se clasifica como una grieta de esquina severa.

- **Las grietas de durabilidad “D”:** Son causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal. Dado que el concreto se satura cerca de las juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D” Este tipo de daño puede llevar a la destrucción eventual de la totalidad de la losa.

- **Escala:** es la diferencia de nivel a través de la junta. Algunas causas comunes que la originan son:
 - a. Asentamiento debido una fundación blanda.
 - b. Bombeo o erosión del material debajo de la losa.
 - c. Alabeo de los bordes de la losa debido a cambios de temperatura o humedad.

- ***Daño en el sello de junta:*** Es cualquier condición que permite que suelo o roca se acumule en las juntas, o que permite la infiltración de agua en forma importante. La acumulación de material incompresible impide que la losa se expanda y puede resultar en fragmentación, levantamiento o descascaramiento de los bordes de la junta. Un material llenante adecuado impide que lo anterior ocurra. Los tipos típicos del daño de junta son:
 - a. Desprendimiento del sellante de la junta.
 - b. Extrusión del sellante.
 - c. Crecimiento de vegetación.
 - d. Endurecimiento del material llenante (oxidación).
 - e. Pérdida de adherencia a los bordes de la losa.
 - f. Falta o ausencia del sellante en la junta.

- ***Desnivel Carril / Berma:*** El desnivel carril / berma es la diferencia entre el asentamiento o erosión de la berma y el borde del pavimento. La diferencia de niveles puede constituirse como una amenaza para la seguridad. También puede ser causada por el incremento de la infiltración de agua.

- ***Grietas lineales (grietas longitudinales, transversales y diagonales):*** Estas grietas, que dividen la losa en dos o tres pedazos, son causadas usualmente por una combinación de la repetición de las cargas de tránsito y el alabeo por gradiente térmico o de humedad. Las losas divididas en cuatro o más

pedazos se contabilizan como losas divididas. Comúnmente, las grietas de baja severidad están relacionadas con el alabeo o la fricción y no se consideran daños estructurales importantes. Las grietas capilares, de pocos pies de longitud y que no se propagan en toda la extensión de la losa, se contabilizan como grietas de retracción.

- ***Punzonamiento:*** Este daño es un área localizada de la losa que está rota en pedazos. Puede tomar muchas formas y figuras diferentes, pero, usualmente, está definido por una grieta y una junta o dos grietas muy próximas, usualmente con 1.52 m entre sí. Este daño se origina por la repetición de cargas pesadas, el espesor inadecuado de la losa, la pérdida de soporte de la fundación o una deficiencia localizada de construcción del concreto (por ejemplo, hormigueros)
- ***Desconchamiento, Mapa de grietas Chaquelado:*** El mapa de grietas o craquelado (crazing) se refiere a una red de grietas superficiales, finas o capilares, que se extienden únicamente en la parte superior de la superficie del concreto. Las grietas tienden a interceptarse en ángulos de 120 grados. Generalmente, este daño ocurre por exceso de manipulación en el terminado y puede producir el descamado, que es la rotura de la superficie de la losa a una profundidad aproximada de 6.0 mm a 13.0 mm. El

descamado también puede ser causado por incorrecta construcción y por agregados de mala calidad.

- **Grietas de retracción:** Son grietas capilares usualmente de unos pocos pies de longitud y no se extienden a lo largo de toda la losa. Se forman durante el fraguado y curado del concreto y generalmente no se extienden a través del espesor de la losa.

Entre otras fallas (pp. 11 – 24).

2.3. Concreto hidráulico.

El concreto es el material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.10)

El concreto es una mezcla en cantidades controladas de cemento, agua, agregados o áridos, y aditivos, que formando una masa plástica y moldeable en sus inicios se endurece con el tiempo creando una masa similar a la de una roca. De ahí que el concreto recibe muchas veces el calificativo de roca artificial. (Becerra Salas, 2012, p. 83)

De esta definición se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o en menor grado las características de los componentes, que bien proporcionados, aportan una o varias de sus propiedades individuales para

constituir un material que manifiesta un comportamiento particular y original.

(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.10)

2.3.1. Componentes del concreto hidráulico.

Los componentes principales del concreto son los agregados, el cemento y el agua, dosificados en diferentes proporciones según el diseño de mezcla, así como lo menciona Becerra Salas (2012), los agregados constituyen entre el 60% y 75% del volumen total del concreto, el cemento constituye entre el 25% y 40% del volumen de la mezcla. El volumen del cemento ocupa entre el 7% y 15% y el agua está entre el 14% y 21%. Por otra parte, el aire atrapado varía entre el 4% y 8% del volumen total.

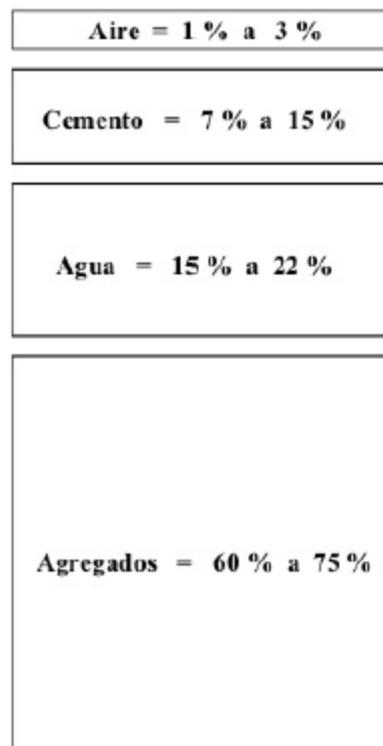


Figura 8. *Proporciones en volumen de los componentes del concreto.*

Fuente. *Tópicos de Tecnología de Concreto*, E. Pasquel Carbajal, 1998.

2.3.1.1. Cemento Portland.

El cemento es un “Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos”. (“RNE E060”, 2009, p. 26)

Mientras que el cemento Portland es el Producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos que no excedan del 1% en peso del total siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker. (“RNE E060”, 2009, p. 26)

a. Fabricación del Cemento Portland.

La materia prima, material calizo y material arcilloso, se tritura, mezcla y muele hasta ser reducida en polvo fino. Los procedimientos de mezcla y molienda pueden efectuarse en seco o húmedo. La dosificación de los materiales debe ser la adecuada a fin de evitar perjuicio en la calidad. El polvo fino pasa a un horno rotatorio donde es calentado lentamente hasta el punto de Clínkerización. En la etapa inicial del proceso de calentado el agua y el anhídrido carbónico son expulsados. Al acercarse la mezcla a las regiones más calientes del

horno producen reacciones químicas entre los constituyentes de la mezcla cruda. Durante estas reacciones se forman nuevos compuestos, algunos de los cuales alcanzan el punto de fusión.

(Rivva Lopez, 2011, pp. 28-34)

El producto resultante, Clínker, cae a uno de los diversos tipos de enfriadores, o se deja enfriar al aire. Posteriormente se combina con un porcentaje determinado de yeso y el conjunto se muele hasta convertirlo en un polvo muy fino que se conoce como cemento portland. (Rivva Lopez, 2011, pp. 34)

b. Tipos de Cemento Portland.

Según Pasquel Carbajal (1998) en el Perú solo contamos con algunos tipos de cemento, pero a nivel mundial se dispone de los siguientes tipos de cemento portland:

- **Tipo I:** De uso general, donde no se requieren propiedades especiales.
- **Tipo II:** De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Para emplearse en estructuras con ambientes agresivos y/o en vaciados masivos.
- **Tipo III:** Desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Para uso en clima frío o en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de la estructura.
- **Tipo IV:** De bajo calor de hidratación. Para concreto masivo.
- **Tipo V:** Alta resistencia a los sulfatos. Para ambientes muy agresivos.

Cuando a los tres primeros tipos de cemento se les adiciona el sufijo A (por ejemplo, Tipo IA) significa que son cementos a los que se les ha añadido incorporadores de aire en su composición, manteniendo las propiedades originales.

Es interesante destacar los cementos denominados “mezclados o adicionados” dado que algunos de ellos se usan en nuestro medio.

- **Tipo IS:** Cemento al que se ha añadido entre un 25% a 70% de escoria de altos hornos referido a su peso total.
- **Tipo ISM:** Cemento al que se ha añadido menos de 25% de escoria de altos hornos referido al peso total.
- **Tipo IP:** Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre el 15% y 40% del peso total.
- **Tipo IPM:** Cemento al que se la ha añadido puzolana en un porcentaje hasta el 15% del peso total.

Todos estos cementos tienen variantes en que se les añade aire incorporado (sufijo A), se induce resistencia moderada a los sulfatos (sufijo M), o se modera el calor de hidratación (sufijo H). (Pasquel Carbajal, 1998, pp. 36-40)

c. Requisitos físicos y químicos del cemento.

Según la norma ASTM C-150 establece algunos requisitos físicos y químicos para el cemento que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2
 Requisitos físicos ASTM C-150 para cementos.

Descripción	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo IIA
Contenido de aire en % (máximo, mínimo)	(12, N/A)	(22,16)	(12, N/A)	(12, N/A)
Fineza con turbidímetro en m ² /Kg (mínimo)			160	160
Fineza por permeabilidad de aire en m ² /kg (min)			280	280
Expansión en autoclave	0.80	0.80	0.80	0.80
Resistencia en compresión en Mpa				
A 1 días	12.40	10.00		
A 3 días	24.10	19.30		8.30
A 7 días			6.60	15.20
A 28 días				20.70
Fraguado inicial Gillmore mínimo en minutos	60	60	60	60
Fraguado final Gillmore máximo en minutos	600	600	600	600
Fraguado inicial Vicat mínimo en minutos	45	45	45	45
Fraguado final Vicat máximo en minutos	375	375	375	375
Requisitos físicos opcionales				
Fraguado falso (penetración final) % mínimo	50	50	50	50
Calor de hidratación máximo a 7 días en cal/gr			60	
Calor de hidratación máximo a 28 días en cal/gr			70	
Expansión con sulfatos a 14 días, % máximo				0.04

Fuente: *Tópicos de Tecnología de Concreto, Pasquel Carbajal, 1998.*

Tabla 3
 Requisitos químicos ASTM C-150 para cementos.

Descripción	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo IIA
SIO ₂ , % mínimo			20.00	20.00
Al ₂ O ₃ , % máximo			6.00	6.00
Fe ₂ O ₃ , % máximo			6.00	6.00
MgO, % máximo	6.00	6.00	6.00	6.00
SO ₃ , % máximo				
Cuando C ₃ A es menor o igual a 8%	3.00	3.00	3.00	3.00
Cuando C ₃ A es mayor a 8%	3.50	3.50	N/A	N/A
Pérdidas por ignición, % máximo	3.00	3.00	3.00	3.00
Residuos insolubles, % máximo	0.75	0.75	0.75	0.75
C ₃ A, % máximo			8.00	8.00
Requisitos físicos opcionales				
(C ₃ S + C ₃ A), % máximo			58.00	58.00
Alcalís, (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), % máximo	0.60	0.60	0.60	0.60
Requisitos físicos opcionales				
Descripción	Tipo III	Tipo IIIA	Tipo IV	Tipo V
Fe ₂ O ₃ , % mínimo			6.50	
MgO, % máximo	6.00	6.00	6.00	6.00
SO ₃ , % máximo				
Cuando C ₃ A es menor o igual a 8%	3.50	3.50	2.30	2.30
Cuando C ₃ A es mayor a 8%	4.50	4.50	N/A	N/A
Pérdidas por ignición, % máximo	3.00	3.00	2.50	2.50
Residuos insolubles, % máximo	0.75	0.75	0.75	0.75
C ₃ S, % máximo			35.00	
C ₂ S, % máximo			40.00	
C ₃ A, % máximo	15.00	15.00	7.00	5.00
[C ₄ AF + 2(C ₃ A)] o (C ₄ AF + C ₂ F), % máximo				25.00
Requisitos físicos opcionales				
C ₃ A, % máximo para mediana resistencia a sulfatos	8.00	8.00		
C ₃ A, % máximo para alta resistencia a sulfatos	5.00	5.00		
Alcalís, (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), % máximo	0.60	0.60	0.60	0.60

 Fuente. *Tópicos de Tecnología de Concreto*, Pasquel Carbajal, 1998.

Sin embargo, el Perú solo dispone de los Tipos I, II, V, IP y IPM, que serán comparados en la Tabla 4 según Pasquel Carbajal (1998).

Tabla 4
Características físicas de los cementos peruanos.

Elemento	Sol	Atlas	Andino	Andino	Andino
	Tipo I	Tipo IP	Tipo I	Tipo II	Tipo V
Peso específico (gr/cm ³)	3.11	3.03	3.11	3.18	3.11
Fineza malla 100 (%)	0.04	0.03	0.34	0.10	0.20
Fineza malla 200 (%)	4.14	0.38	5.66	4.71	2.58
S. específica Bleine (cm ² /gr)	3.477	4.472	3.300	3.400	3.400
Contenido de aire (%)	9.99	9.82	6.50	5.35	5.22
Expansión en autoclave (%)	0.18	0.15	0.02	0.01	(0.01)
Fraguado inicial Vicat	1hr 49'	1hr 59'	2hr 50'	3hr 15'	2hr 15'
Fraguado final Vicat	3hr 29'	3hr 41'	3hr 45'	4hr 30'	3hr 45'
f 'c a 3 días (kg/cm ²)	254	235	204	160	184
f 'c a 7 días (kg/cm ²)	301	289	289	205	243
f 'c a 28 días (kg/cm ²)	357	349	392	320	362
Calor hidratación a 7 días (cal/gr)	70.60	60.50	64.93	63.89	59.02
Calor hidratación a 28 días (cal/gr)	84.30	78.40			

Elemento	Yura	Yura	Yura	Pacasmayo	Pacasmayo
	Tipo I	Tipo IP	Tipo IPM	Tipo I	Tipo V
Peso específico (gr/cm ³)	3.11	2.86	2.95		
Fineza malla 100 (%)					
Fineza malla 200 (%)					
S. específica Bleine (cm ² /gr)	3.597	4.086	3.848	3.400	3.300
Contenido de aire (%)				10.50	10.10
Expansión en autoclave (%)	0.20	0.11	0.26	0.22	0.14
Fraguado inicial Vicat	2hr	2hr	2hr 10'	2hr 29'	2hr 40'
Fraguado final Vicat	4hr	4hr 10'	4hr 10'	5hr 10'	5hr 20'
f 'c a 3 días (kg/cm ²)	242	140	240	168	154
f 'c a 7 días (kg/cm ²)	335	222	299	210	196
f 'c a 28 días (kg/cm ²)	388	316	367	273	258

Fuente. *Tópicos de Tecnología de Concreto, Pasquel Carbajal, 1998.*

Tabla 5
Características químicas de los cementos peruanos.

Elemento	Sol	Atlas	Andino	Andino	Andino
	Tipo I	Tipo IP	Tipo I	Tipo II	Tipo V
CaO	63.20	53.65	64.18	63.83	64.60
SiO ₂	19.79	26.28	21.86	22.58	22.51
Al ₂ O ₃	6.15	6.44	4.81	4.21	3.04
Fe ₂ O ₃	2.82	4.84	3.23	3.11	4.28
K ₂ O	0.96	1.07	0.65	0.54	0.56
Na ₂ O	0.28	0.37	0.15	0.12	0.13
SO ₃	2.58	2.84	2.41	2.38	2.36
MgO	3.16	2.76	0.96	0.97	0.92
Cal libre	0.52	0.29	0.59	0.40	0.55
P. Ignición	0.80	1.63	1.24	1.46	1.08
R. Insoluble	0.62	10.21	0.42	0.59	0.57
C ₃ S	54.18		51.33	48.73	58.64
C ₂ S	15.87		23.95	27.98	20.30
C ₃ A	11.53		7.28	5.89	0.81
C ₄ AF	8.57		9.82	9.45	13.01

Elemento	Yura	Yura	Yura	Pacasmayo	Pacasmayo	Rumi
	Tipo I	Tipo IP	Tipo I	Tipo II	Tipo V	Tipo I(*)
CaO	65.90	46.30	53.80	63.02	62.92	44.19
SiO ₂	22.66	43.51	33.34	19.50	20.50	21.67
Al ₂ O ₃	4.15	3.36	4.80	6.20	4.07	1.56
Fe ₂ O ₃	2.41	1.98	2.04	3.30	5.14	5.01
K ₂ O				0.70	0.68	0.72
Na ₂ O				0.26	0.22	1.69
SO ₃	1.66	1.42	2.04	2.50	1.83	1.09
MgO	1.24	1.30	1.37	2.13	2.10	1.06
Cal libre				1.20	1.10	
P. Ignición	0.96	1.60	1.87	2.30	1.93	2.85
R. Insoluble	0.48	26.70	15.69	0.50	0.68	2.99
C ₃ S	60.00			54.85	60.44	(9.21)
C ₂ S	19.70			14.52	13.18	69.08
C ₃ A	6.92			10.85	2.09	(4.34)
C ₄ AF	7.33			10.03	15.63	15.25

Fuente. *Tópicos de Tecnología de Concreto, Pasquel Carbajal, 1998.*

2.3.1.2. Agregados.

Se definen como los elementos inertes del concreto que son aglomerados por la pasta de cemento para formar la estructura resistente. Ocupan alrededor de las $\frac{3}{4}$ partes del volumen total y tienen una importancia primordial en el producto final. (Pasquel Carbajal, 1998, p.69)

La denominación de inertes es relativa, porque si bien no intervienen directamente en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, para producir el aglomerante o pasta de cemento, sus características afectan notablemente el producto resultante, siendo en algunos casos tan importantes como el cemento para el logro de ciertas propiedades particulares de resistencia, conductibilidad, durabilidad, etc. Están constituidos usualmente por partículas minerales de arenisca, granito, basalto, cuarzo o combinaciones de ellos, y sus características físicas y químicas tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto. (Pasquel Carbajal, 1998, p.69)

Un concreto para pavimentos requiere por lo general agregados que logren una reducción de pasta de cemento y todos efectos perjudiciales como contracción excesiva y cambios volumétricos. Para ello el agregado debe ser del mayor tamaño posible con la finalidad de reducir el área superficial. Asimismo, deben tener granulometrías completas, no parciales. (Becerra Salas, 2012, p. 99)

Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y las menores de 4.75 mm (Malla Standard ASTM #4).

Esta clasificación responde además a consideraciones de tipo práctico ya que las técnicas de procesamiento de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a separarlos en esta forma con objeto de poder establecer un control más preciso en su procesamiento y empleo. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 72)

a. Agregado fino.

Se define como agregado fino a aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas que pasa al tamiz ITINTEC 9.5 mm (3/8") y que cumple con los límites establecidos en la Norma ITINTEC 400.037. (Rivva Lopez, 1992, p. 18)

El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente. (Rivva Lopez, 1992, pp. 18-19)

Según el Rivva Lopez (1992) el agregado fino debe estar graduado dentro de los límites indicados en la norma ITINTEC 400.037 y se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 de la serie de Tyler.

- El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.
- En general, es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites:

Tabla 6
Límites granulométricos del agregado fino.

Malla	% Que pasa
3/8"	100
N° 04	95-100
N° 08	80-100
N° 16	50-85
N° 30	25-60
N° 50	10-30
N° 100	2-10

Fuente. *Diseño de mezclas - Enrique Rivva López - 1992*

El porcentaje indicado para las mallas N°50 y N°100 podrá ser reducido a 5% y 0% respectivamente, si el agregado es empleado en concretos con aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 225 kg/m³, o en concretos sin aire incorporado cuyo contenido de cemento es mayor de 300 kg/m³, o si se emplea un aditivo mineral para suplir la deficiencia en el porcentaje que pasa por estas mallas. (Rivva López, 2000, p. 19)

El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de más o menos 0,2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto, siendo recomendable que el valor asumido este entre 2.35 y 3.15. (Rivva López, 2000, p. 19).

El agregado fino no deberá indicar presencia de materia organica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la Norma ITINTEC 400.013. (Rivva López, 1992, p. 20)

Según el autor Rivva Lopez (1992) podrá emplearse agregado fino que no cumple con los requisitos indicados siempre que:

- La coloración en el ensayo se deba a la presencia de pequeñas partículas de carbón, o partículas similares.
- Realizado el ensayo, la resistencia a los siete días de morteros preparados con dicho agregado no sea menor del 95% de la resistencia de morteros similares preparados con otra porción de la misma muestra de agregado fino previamente lavada con una solución al 3% de hidróxido de sodio.

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites según Rivva López, (1992):

- Lentas de arcilla y partículas desmenuzables..... 3%
- Material más fino que la malla N°200
Concretos sujetos a abrasión..... 3%
Otros concretos..... 5%
- Carbón:
Cuando la apariencia superficial del concreto es impórtate..... 0,5%
Otros concretos..... 1%

b. Agregado grueso.

El agregado grueso se define como agregado grueso al material retenido en el Tamiz ITINTEC 4.75mm (N°4) y cumple los límites establecidos en la Norma ITINTEC 400.037. El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial. (Rivva Lopez, 1992, p. 21)

El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa. Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humos, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas. (Rivva Lopez, 1992, p. 21)

Según el autor Rivva Lopez (1992) el agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la Norma ITINTEC 400.037 o en la Norma ASTM C 33, los cuales está en la Tabla 7. Es recomendable tener en consideración lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
- La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y

consistencia en función de las condiciones de colocación de las mezclas.

- La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½” y no más de 6% del agregado que pasa la malla de 1/4”. (p. 21)

Tabla 7
Límite de graduación del Agregado Grueso.

Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasan por las siguientes mallas							
	2”	1 ½”	1”	¾”	½”	3/8”	N°04	N°08
2”	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
1 ½”	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
1”	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
¾”	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
½”	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
3/8”	-	-	-	-	100	85-100	0-30	0-10

Fuente. *Diseño de mezclas - Enrique Rivva López – 1992.*

El autor Rivva Lopez (1992) también indica que el tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados o
- Un tercio del peralte de las losas o
- Tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo; paquetes de barras; torones; o ductos de preesfuerzo. (p. 21)

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes valores según Rivva López, (1992):

- Arcilla..... 0,25%
- Partículas deleznales..... 5,00%
- Material más fino que la malla N°200..... 1,00%
- Carbón y lignito:
 - Cuando el acabado superficial del concreto es de importancia..... 0,50%
 - Otros concretos..... 1,00%

El agregado grueso empleado en concreto para pavimento, o en estructuras sometidas a procesos de erosión, abrasión o cavitación, no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a las Normas ITINTEC 400.019 ó 400.020, o a la Norma ASTM C 131. (Rivva López, 1992, p. 22).

2.3.1.2.1. Características físicas de los agregados.

a. Condiciones de Saturación.

En la figura 9 se han esquematizado las condiciones de saturación de una partícula ideal de agregado, partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial, pudiéndose asimilar visualmente los conceptos de saturación en sus diferentes etapas, que servirán durante el desarrollo posterior del presente capítulo. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 74)

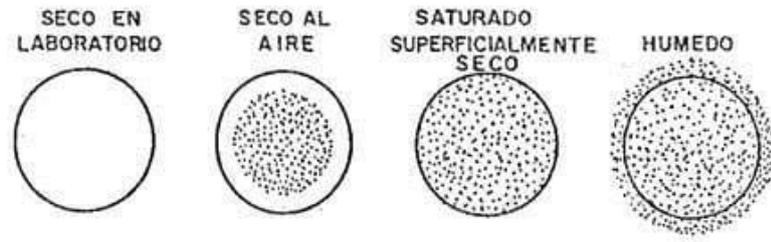


Figura 9. *Condiciones de saturación del agregado.*
Fuente. *Tecnología de Concreto, Denis Tas, 2011.*

b. Peso Específico.

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Las Normas ASTM C-127 y C-128 establecen el procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorio, distinguiéndose tres maneras de expresarlo en función de las condiciones de saturación. Hay que tomar en cuenta que las expresiones de la norma son adimensionales, luego hay que multiplicarlas por la densidad del agua en las unidades que se deseen para obtener el parámetro a usar en los cálculos. Su valor para agregados normales oscila entre 2,500 y 2,750 kg/m³. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 74)

c. Peso Unitario.

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

La Norma ASTM C-29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 74)

“El valor del peso unitario para agregados normales oscila entre 1500 y 1700 kg/m³”. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 76)

d. Porcentaje de vacíos.

Es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario.

La misma norma ASTM C-29 indicada anteriormente establece la fórmula para calcularlo, empleando los valores de peso específico y peso unitario estándar. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 76)

$$\% \text{ de Vacíos} = 100 \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right] \dots (1)$$

Donde:

Ecuación 1. Porcentaje de vacíos

S = Peso específico de masa

W = Densidad de agua

M = Peso unitario compactado seco

e. Absorción.

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

Las normas ASTM C-127 y 128 ya mencionadas establecen la metodología para su determinación expresada en la siguiente fórmula. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 76)

Ecuación 2. Porcentaje de absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso S.S.S} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \dots (2)$$

f. Porosidad.

Es el volumen de espacios dentro de las partículas de los agregados. Tiene una gran influencia en todas las demás propiedades de los agregados, pues es representativa de la estructura interna de las partículas. No hay un método estándar en ASTM para evaluarla, sin embargo, existen varias formas de determinación por lo general complejas y cuya validez es relativa. Una manera indirecta de estimarla es mediante la determinación

de la absorción, que da un orden de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que la real, ya que como hemos indicado en el párrafo anterior, nunca llegan a saturarse completamente todos los poros de las partículas.

Los valores usuales en agregados normales pueden oscilar entre 0 y 15 % aunque por lo general el rango común es del 1 al 5 %.

En agregados ligeros, se pueden tener porosidades del orden del 15 al 50%. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 77)

g. Humedad.

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. ES una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 77)

Ecuación 3. Contenido de humedad

$$C.H. = 100 \times \frac{(H - S)}{S} \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

H = Peso del material natural

S = Peso del material seco

2.3.1.2.2. Características Resistentes.

a. Resistencia.

Capacidad de asimilar la aplicación de fuerzas de compresión, corte, tracción y flexión. Normalmente se mide por medio de la resistencia en compresión, para lo cual se necesita ensayar testigos cilíndricos o cúbicos de tamaño adecuado al equipo de ensayo, que se perforan o cortan de una muestra lo suficiente grande. La resistencia en compresión está inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 78)

Agregados normales de peso específico entre 2.5 a 2.7, tienen resistencias en compresión del orden de 750 a 1200 kg/cm².

Los agregados ligeros con peso específico entre 1.6 a 2.5 usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 kg/cm².

La resistencia del agregado condiciona en gran medida la resistencia del concreto, por lo que es fundamental el evaluarla directa o indirectamente cuando se desea optimizar la calidad de los concretos. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 78)

b. Tenacidad.

Se denomina así en general a la resistencia de impacto. Está más relacionada con la sollicitación en flexión que en compresión, así como la angularidad y la aspereza de la superficie. Tiene trascendencia en las propiedades del concreto ante impactos, que son importantes en términos prácticos, al momento de evaluar las

dificultades en el procesamiento por chancado del material. Su estimación es más cualitativa que cuantitativa. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 78)

c. Dureza

Es la resistencia al desgaste por la acción de unas partículas sobre otras o por agentes externos. En los agregados para concreto se cuantifica por medio de la resistencia a la abrasión en la Máquina de Los Ángeles, que consta de un cilindro metálico donde se introduce el agregado conjuntamente con 12 esferas de acero de 46.8 mm. De diámetro y entre 390 y 445 gr. De peso cada una, con un peso total de $5,000 \pm 25$ gr. Haciéndose girar el conjunto un cierto número de revoluciones (100 o 500) que provocan el roce entre partículas, y de las esferas sobre la muestra provocando el desprendimiento superficial de material el cual se mide y expresa en porcentaje. Las normas ASTM aplicables son la C-131 y C-535. Agregados con altos valores de desgaste a la abrasión ($\geq 50\%$) producen concretos con características resistentes inadecuadas en la mayoría de casos. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 79)

2.3.1.2.3. Módulo de fineza de los agregados.

Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el

tamiz N° 100 y esta cantidad se divide entre 100. El sustento matemático del Módulo de Fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica. Debe entenderse muy en claro que es un criterio que se aplica tanto a la piedra como a la arena, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente o la mezcla de agregados en conjunto. La base experimental que apoya al concepto de Módulo de Fineza es que granulometrías que tengan igual M. F. independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia, lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 92)

2.3.1.3. Agua.

El autor Pasquel Carbajal (1998) afirma que el agua cumple 3 funciones principales en la elaboración de la mezcla de concreto.

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua empleada en el concreto es por un tema de trabajabilidad más que por la necesaria para la hidratación del cemento.

Está prohibido el empleo de aguas ácidas; calcáreas; minerales; carbonatadas; aguas provenientes de minas o relaves; aguas que contengan residuos minerales o industriales; aguas con un contenido de sulfatos mayor del 1%; aguas que contengan algas, materia orgánica, humus, o descargas de desagües; aguas que contengan azúcares o sus derivados. (Rivva López, 1992, p. 23)

“El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la norma ITINTEC 339.088 y ser, de preferencia, potable”. (Rivva Lopez, 1992, p. 23)

Tabla 8

Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC 339.088.

Descripción	Límite permisible		
1) Sólidos de suspensión	5000	p.p.m.	máximo
2) Materia orgánica	3	p.p.m.	máximo
3) Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000	p.p.m.	máximo
4) Sulfato (Ión SO ₄)	600	p.p.m.	máximo
5) Cloruros (Ión Cl)	1000	p.p.m.	máximo
6) pH	5 a 8		

Fuente. *Tópicos de Tecnología de Concreto, Pasquel Carbajal, 1998.*

El agua para el curado, en general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, y por otro lado en las obras es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como para el curado del concreto. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 65)

a. Relación Agua / Cemento.

La calidad del concreto ya endurecido es directamente afectada por la relación agua / cementante. Cuando cantidades innecesarias de agua son utilizadas en la mezcla de concreto, éstas diluyen la pasta de cemento empobreciendo la mezcla. El cemento es hidratado por el agua de hidratación. Agua adicional es empleada para hacer más trabajable la mezcla en detrimento de propiedades como permeabilidad y resistencia. (Becerra Salas, 2012, p. 85)

Según el autor Becerra Salas (2012) Las ventajas de la disminución de agua (y disminución de la a/c) son:

- Aumento de la resistencia a compresión ($f'c$) y flexión (M_r)
- Disminución de la permeabilidad
- Aumento de la resistencia a factores ambientales
- Mejor unión concreto – acero
- Reducción de la contracción, factor importante cuando se trata de mezclas que van a tener una gran superficie expuesta como es el caso de los pavimentos.
- Menores cambios volumétricos por humedad y temperatura.
- Reduce el problema de alabeo en las losas.

En conclusión, cuanta menor agua se usa, mejores características tienen la mezcla de concreto. Para el caso específico de concreto para pavimentos se recomienda no utilizar mezclas con relaciones agua / cementantes mayores a 0.5. (p. 85)

2.3.2. Propiedades del Concreto.

2.3.2.1. Trabajabilidad.

Se entiende por trabajabilidad a aquella propiedad del concreto al estado no endurecido la cual determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad; así como para ser acabado sin que se presente segregación. (Rivva Lopez, 1992, p. 31)

Diferentes estructuras requieren diferente trabajabilidad. En el caso de mezclas para pavimentos que serán colocados con métodos tradicionales como reglas vibratorias con encofrados fijos, se debe trabajar con asentamientos entre 3 y 4 pulgadas. Las mezclas destinadas para pavimentos colocados con pavimentadoras de encofrado deslizante requieren un asentamiento mucho menor, alrededor de 1 pulgada. (Becerra Salas, 2012, p. 86)

2.3.2.2. Permeabilidad.

A menos a/c se obtienen mezclas menos permeables. La disminución de la permeabilidad aumenta la resistencia a los ciclos de hielo – deshielo, la penetración de sustancias dañinas como cloruros y sulfatos, entre otros. (Becerra Salas, 2012, p. 91)

2.3.2.3. Resistencia.

La resistencia a compresión ($f'c$) es la resistencia a 28 días a cara axial lograda en especímenes de concreto. Se pueden emplear otras edades como mecanismos de control de la ganancia de resistencia, siendo por ejemplo a 7 días la que representa aproximadamente el 75% de la resistencia a 28 días. (Becerra Salas, 2012, p. 89)

La resistencia a flexión o módulo de ruptura (Mr) es uno de los parámetros más significativos empleados para el diseño de pavimentos y losas industriales. Las diversas metodologías de diseño de pavimentos rígidos se refieren al Mr como parámetro principal de diseño. (Becerra Salas, 2012, p. 89)

El autor Becerra Salas (2012), recomienda el uso de correlaciones para Mr con respecto a $f'c$ con el fin de hacer más fácil el cálculo de los valores, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Módulo de Ruptura

$$Mr = a \sqrt{f'c} \dots\dots\dots (4)$$

Dónde: $a = [1.99; 2.65]$



Figura 10. Testigos de concreto para ensayos.
Fuente. Tópicos de Pavimentos de Concreto, Becerra Salas, 2012.

UNICON PROFESIONALES EN CONCRETO		CORRELACIÓN DEL MODULO DE ROTURA M_r vs RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'_c									
Planta de despacho:	CEMENTOS LIMA	Comité ACI 308.3:	$M_r = a \sqrt{f'_c}$		$M_r = 2.58 \sqrt{f'_c}$						
Código de Diseño:	145N357A-6		a (1.99 - 3.18)								
Edad: 28 días											
MODULO DE ROTURA M_r				RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'_c							
								COEFICIENTE DE CORRELACIÓN			
Resistencia Promedio:		50 kg/cm ²		Resistencia Promedio:		371 kg/cm ²					
Desviación Estándar:		2.80 kg/cm ²		Desviación Estándar:		34.63 kg/cm ²					
Nº de muestras:				54				a			
Resultados de Resistencia a la Tracción por Flexión M_r (Kg/cm ²)				Resultados de Resistencia a la Compresión f'_c (Kg/cm ²)							
Guía	Fecha	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Rango de variación (Máx 10% - ASTM C-78)	Guía	Fecha	Probeta 1	Probeta 2	Promedio	Rango de variación (Máx 8% - ASTM C-38)

Figura 11. Correlación de probetas ensayadas a compresión y vigas a flexión.

Fuente. Tópicos de Pavimentos de Concreto, Becerra Salas, 2012.

Tabla 9
 Caracterización de las mezclas de concreto.

a/c	f'c (kg/cm ²)	Mr (kg/cm ²)	Contenido de Cemento (kg/cm ³)
0.70	210	35	280
0.50	280	40	350
0.45	320	45	380
0.40	420	50	415

Fuente. *Tópicos de Pavimentos de Concreto*, Becerra Salas, 2012.

Por lo general los pavimentos de concreto se diseñan con mezclas, cuyos Módulo de Rotura a Flexión (Mr) están entre 40 y 50 kg/cm². A mayor resistencia Mr menor espesor de concreto para la carpeta de rodadura. Resistencias menores no son apropiadas por temas de desgaste, tampoco el empleo de resistencias mayores, debido a que la losa se vuelve demasiado rígida. (Becerra Salas, 2012, p. 91)

2.3.2.4. Durabilidad.

Es la habilidad del concreto a resistir el efecto del medio ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades en el tiempo. Se recomienda emplear mezclas con a/c menores a 0.5 (o su equivalente de f'c = 280 Kg/cm²). El empleo de aire incluido (4 – 6%) y fibras mejora el comportamiento del concreto en el tiempo. Para condiciones de ataques químicos de soluciones con sulfatos se recomienda además emplear concretos con cementos tipo I ó IP. (Becerra Salas, 2012, p. 92)

2.3.2.5. Exudación.

Es la presencia de una lámina de agua en la superficie del concreto recién vaciado. Es causada por la sedimentación de las partículas sólidas y por la subida del agua de mezclado hacia la superficie. La exudación es un proceso normal, obviamente a menor contenido de agua de mezclado (y una menor relación a/c) el fenómeno se acentúa. La exudación ayuda a prevenir la presencia de fisuración plástica por secado de la mezcla, pero si es en excesiva, lo que sucede es que la superficie tendrá una diferente relación a/c y, por lo tanto, menor calidad entre sus propiedades. (Becerra Salas, 2012, p. 87)

2.3.2.6. Elasticidad.

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas. (Becerra Salas, 2012, p. 93)

El módulo elástico es clave en el desempeño del concreto como parte de la estructura del pavimento. En general, el módulo elástico del concreto depende del tipo de agregado grueso. Por lo tanto, para una misma resistencia, el concreto que posea el menor módulo elástico tendrá un mejor comportamiento ante el agrietamiento, sin embargo, al tener menor módulo elástico las deflexiones serán mayores y se favorecerá el escalonamiento. Es necesario tener en cuenta que el

mejor mecanismo de control del escalonamiento es el empleo de pasadores. (Becerra Salas, 2012, pp. 93-94)

2.3.2.7. Escurrimiento plástico.

Según el autor Rivva Lopez (1992) el escurrimiento plástico puede ser definido como “el alargamiento o acortamiento que sufre una estructura de concreto como consecuencia de una sollicitación uniforme y constante de tracción o compresión respectivamente”, así como también indica que “la magnitud depende de la resistencia del concreto en el instante en que comienza a actuar la sollicitación permanente”. (p. 43)

2.3.2.8. Dilatación térmica.

Las variaciones de temperatura en el concreto producen cambios en su volumen induciendo esfuerzos adicionales que, al superar la resistencia a tracción del concreto, producen agrietamiento. Las variaciones de temperatura pueden ser producto de la reacción química de hidratación propia del cemento, y/o a las condiciones ambientales. El coeficiente de expansión térmica del concreto es del orden de $7 \text{ a } 11 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$, y es el que condiciona la capacidad de deformación por temperatura. (Becerra Salas, 2012, p. 94)

2.3.3. Mezclado del Concreto

Se debe tener cuidado para lograr que la mezcla de la pasta con los agregados se logre de una manera eficiente, es decir, lograr una mezcla

homogénea. Para ello, la secuencia de mezclado de los insumos desempeña un rol protagónico. También es necesario contar con equipos que puedan lograr esta característica en la mezcla. La norma ASTM C 94 sugiere una secuencia de mezclado, tiempos mínimos de batido y certificaciones que los equipos mezcladores deben garantizar. El concreto recién mezclado debe ser plástico y capaz de ser moldeado. En la mezcla, los agregados son envueltos por la pasta y mantenidos en suspensión. No deben segregarse durante su transporte ni vaciado, y cuando el concreto endurece debe formar una mezcla que sea lo más uniforme posible. Este punto debe garantizarse especialmente para mezclas destinadas a pavimentos de concreto, recordando que se utilizarán agregados del máximo tamaño posible, y que, por ello, son más propensos a la segregación. (Becerra Salas, 2012, pp. 85-86)

2.3.4. Diseño de mezcla de concreto.

El diseño de mezclas de concreto, es conceptualmente la aplicación técnica y practica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, para lograr un material resultante que satisfaga de la manera más eficiente los requerimientos particulares del proyecto constructivo. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 171)

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en algunas tablas, que le permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica de concreto. (Vizconde Poémape, s.f., párr. 1)

2.4. Acero.

El acero es una aleación de diversos elementos entre ellos: carbono, manganeso, silicio, cromo, níquel y vanadio. El carbono es el más importante y el que determina sus propiedades mecánicas. A mayor contenido de carbono, la dureza, la resistencia a la tracción y el límite elástico aumentan. Por el contrario, disminuye la ductilidad y la tenacidad. El manganeso es adicionado en forma de ferro-manganeso. Aumenta la forjabilidad del acero, su templabilidad y resistencia al impacto. Así mismo, disminuye su ductilidad. El silicio se adiciona en proporciones que varían de 0.05% a 0.50%. Se le incluye en la aleación para propósitos de desoxidación pues se combina con el oxígeno disuelto en la mezcla. El cromo incrementa la resistencia a la abrasión y la templabilidad; el níquel, por su parte, mejora la resistencia al impacto y la calidad superficial. Finalmente, el vanadio mejora la temperabilidad. (Teodoro E. Harmsen, 2002, p. 36)

El acero no es el rey de los metales, pero es el más popular de ellos y es tal su importancia que normalmente es con su ayuda que se puede alcanzar y poseer al metal dorado. Un país, una sociedad o un particular que tiene más acero involucrado en su estilo de vida usualmente es el más rico y poderoso. Y, aunque resulte paradójico, el acero no es un metal químicamente hablando, sino una aleación entre un metal (el hierro) y un metaloide (el carbono), que conserva las características metálicas del primero, pero con propiedades notablemente mejoradas gracias a la adición del segundo y de otros elementos metálicos y no metálicos. (Corporación Aceros Arequipa S.A., 2007)

2.4.1. Fabricación del Acero.

Según la Corporación Aceros Arequipa (2017), afirma que actualmente existen 2 vías clásicas para la elaboración del acero; a continuación, se esquematiza la elaboración tradicional vía alto horno, empleada desde mediados del ciclo XIX, y una actual vía horno eléctrico debido al auge de la producción de acero.

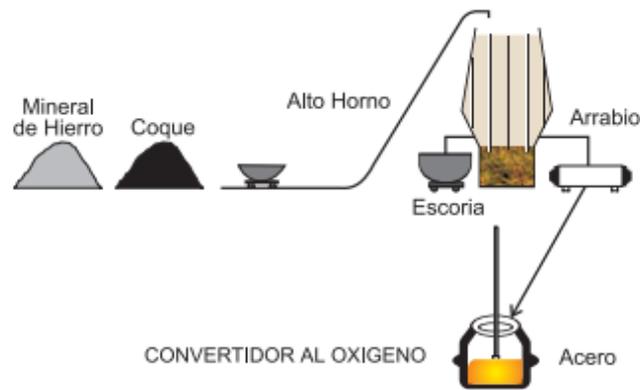


Figura 12. *Elaboración Vía Alto horno*
Fuente. *El Acero, Corporación Aceros Arequipa.*

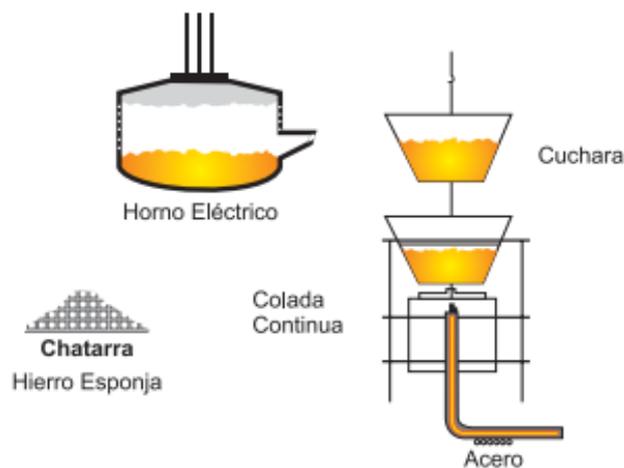


Figura 13. *Elaboración Vía Horno Eléctrico*
Fuente. *El Acero, Corporación Aceros Arequipa.*

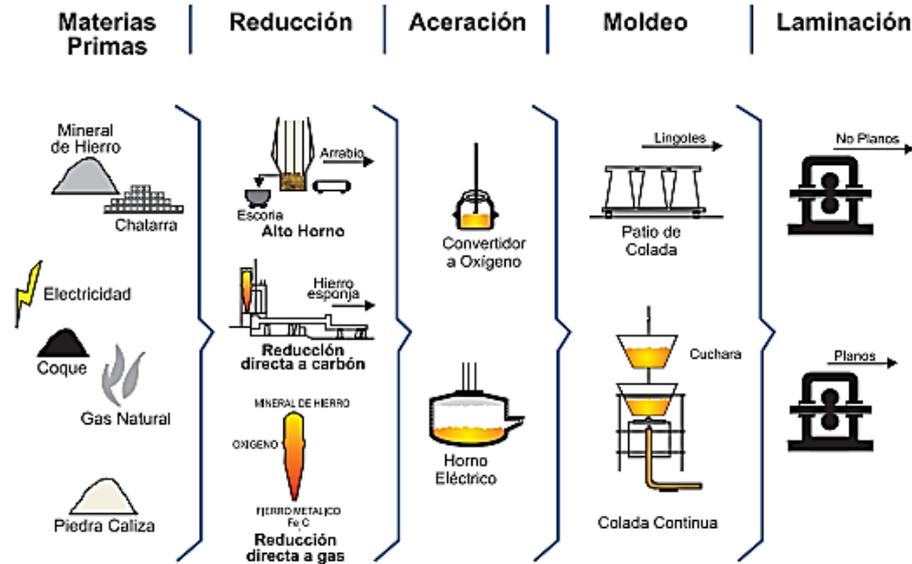


Figura 14. *Flujo Esquemático de la fabricación del acero.*
Fuente. *El Acero, Corporación Aceros Arequipa.*

2.4.2. El acero en el Perú.

El nivel de producción y comercialización de acero en el Perú es uno de los que más ha crecido a nivel de América del Sur en menos de diez años (2007-2016), así se desprende del último reporte elaborado por la Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero).

El mayor fortalecimiento de la industria ha llevado al país a escalar cinco posiciones y situarse en el segundo lugar por consumo per cápita de acero en América del Sur (123 kg/habitante), solo por debajo de Chile, donde el consumo per cápita de este metal se ubicó en 147 kg el año pasado. (M. Romainville Izaguirre, 2017, párr. 1-2)

2.4.2.1. Normas que regulan la calidad del acero.

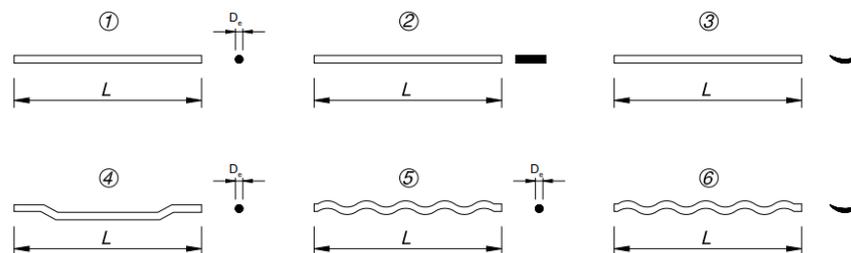
El acero para ser utilizado en concreto armado se fabrica bajo las normas ASTM-A-615/615M-00, y A-706/706M-00. En el Perú es

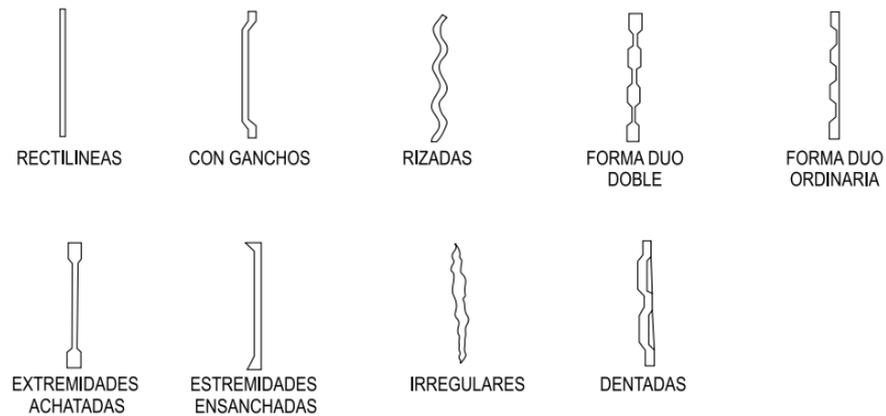
producido a partir de la palanquilla, pero en el extranjero también se suele conseguir el reciclaje de rieles de tren y ejes usados. Estos últimos son menos maleables, más duros y quebradizos. (Teodoro E. Harmsen, 2002, p. 36)

Sin embargo, la Corporación de Aceros Arequipa (2007), menciona las normas por cada país, afirmando que el Perú es regido por la norma ITINTEC, y en el caso de aceros para construcción las normas ASTM A615 GRADO 60, ASTM A706, ASTM A36.

2.4.3. Fibras de acero

La fibra es un producto de acero caracterizado geoméricamente por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleada como refuerzo en el conglomerado del hormigón, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas. Axialmente, la forma puede ser rectilínea o perfilada, transversalmente; la fibra puede tener sección circular, rectangular o variada. (Maccaferri, 2007, p. 16)





(a) Varias formas de fibras metálicas



(b) Tipos de secciones transversales

(c) Fibras metálicas pegadas

Figura 15. *Formas de las fibras de acero.*
Fuente. *Manual Fibras en el concreto, Maccaferri, 2007.*

a. Características de las fibras de acero

- Longitud (L): es la distancia entre las dos extremidades.
- Diámetro o diámetro equivalente (D_e): es el diámetro del hilo, para las fibras de sección transversal circular, o es el diámetro del círculo de área igual a la de la sección transversal de la fibra ($0,15 \leq D_e \leq 1,20$).
- Relación de aspecto $\lambda = L/D_e$: es la relación entre la longitud L y el diámetro D_e (0 diámetro equivalente).
- Resistencia a tracción: se refiere al hilo semielaborado o el de la fibra.
- Forma: fibras rectilíneas o fibras amoldadas (longitudinalmente o transversalmente).
- Composición química: Acero de bajo o elevado contenido de carbono o inoxidable $C \leq 0,04$, $Mn 0,25-0,40$, si $P \leq 0,10$, $P \leq 0,03$

Según la norma UNI 11037, hay diversos tipos de fibras en función del proceso productivo:

- Alambre de acero trefilado en frío obtenido de alambroón fabricado según la norma UNI EN 10016-1,2,4 o UNI EN 10088-3;
- Cinta laminada en frío de acero no aleado;
- Otros tipos de fabricación (como, por ejemplo, fresado de un bloque de acero).

2.4.4. El acero y el Medio Ambiente.

La protección del medio ambiente es una de las temáticas que ha irrumpido con gran fuerza en este proceso de economía moderna en el cual hoy estamos viviendo y, sobre todo, ha concientizado a la gente. Esto se comprueba a través de las acciones emprendidas por las empresas siderúrgicas en general. (Corporación Aceros Arequipa, 2007, p. 117)

Por ello nace esta investigación de tesis con el fin de aprovechar este material, por el bien del medio ambiente, ya que el acero en ese sentido nos da una gran ayuda, pues posee ventajas notables frente a otros materiales ya que por sus características lo hace fácilmente reciclable. Esto es fácil de comprobar en el mundo y en nuestro país el reciclaje del acero está en constante aumento. Muchas empresas siderúrgicas han tomado como guía los principios que en su momento anunció la Organización Mundial de Comercio (OMC) y tienen, además, sistemas de gerenciamiento del tema ambiental que buscan satisfacer normativas internacionales, tales como las normas ISO de la serie 14000.

El concepto de desarrollo sostenible implica que el crecimiento económico no debe afectar a las generaciones futuras, lo que lleva implícita la conservación de los recursos naturales, la producción limpia y la relación con el ambiente. (Corporación Aceros Arequipa, 2007, p. 117)

2.5. Concreto Hidráulico reforzado con fibras.

Hay muchos tipos de fibras disponibles para comercializar y realizar experimentos, pero las básicas categorías son: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales.

Según la información obtenida del Manual Interno de Maccaferri: Fibras como elemento estructural para el Refuerzo del Hormigón, se define como:

Fibras: Las fibras son filamentos discontinuos, producidos con una variada gama de formas, dimensiones y destinados específicamente para uso en concreto y argamasas. Tiene como finalidad principal inhibir el surgimiento de fisuras, así como su propagación en elementos estructurales como pisos y pavimentos, concreto proyectado, revestimiento de túneles y piezas prefabricadas. (Maccaferri, 2007, p. 3)

Según el ACI, el concreto fibroreforzado es una mezcla constituida a partir de cemento hidráulico, contenido de agregados finos y gruesos, y también filamentos o fibras discretas discontinuas. Estructuralmente proporcionan una mayor energía de rotura, sustituyendo parcial o completamente los sistemas convencionales de armaduras de acero. Por otro parte, del lado no estructural,

las fibras proporcionan un notable incremento en la resistencia al fisuramiento, así como el incremento de otras propiedades:

“Las fibras son empleadas en aplicaciones estructurales en busca de beneficios adicionales en cuanto a reducción de mano de obra, incremento de la durabilidad y reducción o eliminación del refuerzo tradicional. El concreto soporta esfuerzos a tracción que son transmitidos por adherencia a las fibras una vez que se haya producido la micro-fisura, controlan la fisuración y reducen la intensidad de la misma a la vez que mejoran la tenacidad” (Colegio de Ingenieros del Perú, 2012, p. 4)

2.5.1. Refuerzo del concreto con fibras de acero

Las fibras metálicas ofrecen muchos beneficios al concreto. Reforzar el concreto con fibras metálicas ofrece a los constructores la posibilidad de eliminar el habilitado y la colocación de mallas o varillas; las fibras metálicas se incorporan directamente al concreto, como si se tratara de un agregado o aditivo más. (Lao Odicio, 2007, 31)

Algunos beneficios que obtenemos con la adición de fibras de concreto al concreto son:

- Ductilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al corte
- Resistencia al impacto.

Las fibras metálicas mejoran considerablemente el comportamiento dúctil (flexura toughness) del concreto, es decir; la capacidad de redistribuir esfuerzo en la masa. Esta absorción de energía prácticamente ofrece una

mayor capacidad de carga al concreto, por lo que en muchos casos el incorporar fibras metálicas permite disminuir el espesor de los pisos de concreto. (Lao Odicio, 2007, 32)

a. Ventajas de la adición de fibras de acero en el concreto para pavimentos.

Según la tesis presentada por Lao Odicio (2007) se define las siguientes ventajas en la incorporación de fibras de acero en el concreto:

- La fibra tiene dobleces en los extremos que permite mejorar adherencia de la fibra dentro de la matriz del concreto.
- Alta resistencia a tracción.
- Alta absorción de energía por medio del alambre trefilado de bajo contenido de carbono.
- Elimina el habilitado y colocación de malla y varillas convencionales por la sustitución de estos materiales con fibras de acero.
- Mejoran la resistencia del hormigón a la fisuración por contracción, a los golpes, punzonamiento (corte), cargas cíclicas (fatiga), variaciones térmicas, ciclos hielo/deshielo. Vuelven el hormigón más dúctil, menos frágil, menos permeable.
- Reemplaza la armadura tradicional en aplicaciones como: pisos industriales, pavimentos viales, portuarios y aeroportuarias, plateas, construcción de túneles, industrias mineras, revestimiento de túneles, estabilización de excavación para fundaciones, trabajos de saneamiento y recuperación de estructuras.

- Más eficientes, económicos y rápido, comparado con las soluciones tradicionales.
- De fácil aplicación
- Distribución homogénea dentro del hormigón.
- Aumento de la capacidad de carga.
- Reduce la formación de fisuras.
- Mejor comportamiento a las variaciones de temperatura.
- Comparadas a las mallas electrosoldada, permiten: mayor distancia entre las juntas, contribución de todo espesor de la sección, menor costo y tiempo de instalación, reducción de espesor de losa no requiriéndose recubrimiento ni traslapes.

CAPÍTULO III:

MATERIALES Y

MÉTODOS

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Método de investigación

Investigación Cuantitativa, porque de forma estructurada se recopilará y analizará los datos obtenidos de los ensayos en el laboratorio, empleando medios matemáticos y estadísticos para medir los resultados de manera concluyente y así desmentir o aprobar la hipótesis planteada, y es una Investigación Experimental, porque se realizará ensayos utilizando virutas de acero en distintos porcentajes para mejorar las propiedades mecánicas del concreto hidráulico, estos experimentos se llevarán a cabo dentro del laboratorio Mecánica de suelos y Concreto de la Universidad Nacional del Santa

3.2. Diseño experimental

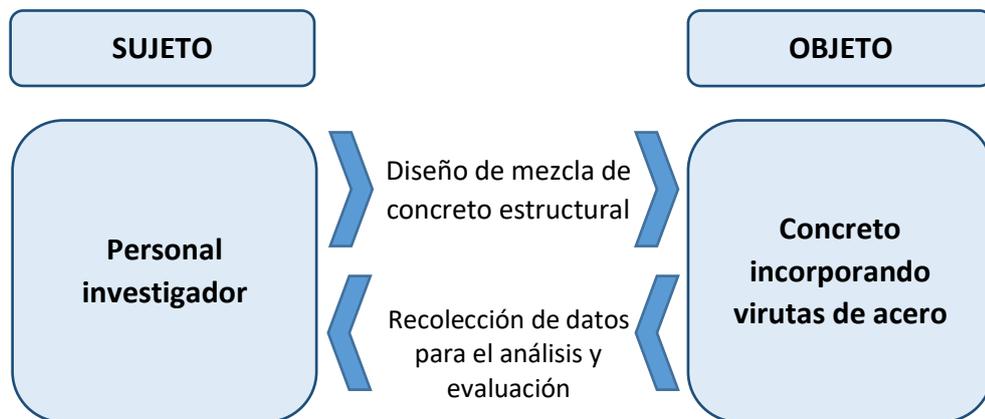


Figura 16. *Diseño experimental.*
Fuente. *Elaboración propia.*

3.3. Población

La población es igual a la muestra con un total de 120 probetas de concreto y 15 vigas de concreto.

3.4. Muestra

La muestra es igual a la población con un total de 120 probetas de concreto y 15 vigas de concreto.

3.5. Obtención en laboratorio de muestras representativas

Procedimiento

Se coloca la muestra sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no pueda haber pérdida de material ni contaminación con materias extrañas.

Se mezcla el material completamente traspaleando toda la muestra en una pila cónica, depositando cada paleada sobre la anterior. Por medio de la pala se ejerce presión sobre el vértice; se aplanar con cuidado la pila hasta que se obtenga un espesor y un diámetro uniforme.

Se parte la pila aplanada en 4 partes similares con alguna pala o la cuchara de laboratorio.

Se quitan 2 de las 4 partes diagonalmente contrarias y las otras 2 se selecciona, para luego volver a combinar el material y cuartear nuevamente, así sucesivamente hasta disminuir la muestra al espécimen requerido para los ensayos.

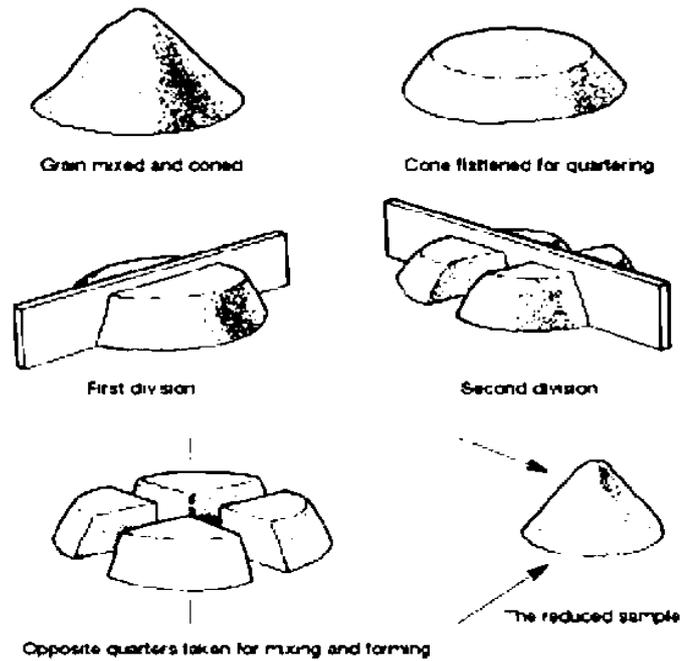


Figura 17. *Procedimiento de obtención de muestras representativas.*
Fuente. *El cuarteo*, Silvana Quijandría Casanova, 2016.

3.6. Peso unitario de los agregados

3.6.1. Peso unitario suelto

Procedimiento

Se llena con material cuarteado un recipiente con dimensiones conocidas, y se vacía el material desde una altura que no sea superior a 50 mm (2”) hasta que llene el contenedor.

El material rebosante del recipiente se elimina con ayuda de una regleta.

Utilizar una balanza electrónica para precisar el peso del recipiente lleno con agregado, así como el peso del contenedor cúbico, anotar los resultados con aproximaciones de 0,05 kg (0,1 lb).

3.6.2. Peso unitario compactado

Procedimiento.

Rellenar con agregado el recipiente en 3 capas de aproximadamente similar cantidad. Cada capa se debe compactar posicionando el recipiente cúbico lleno con material, sobre una superficie firme y se inclina, hasta que el extremo contrario al lado de apoyo, diste unos 50 mm (2") de la base. Luego soltar, lo cual causa un golpe seco sobre la base y así reiterar el procedimiento inclinando con los lados contrarios y opuestos.

Este procedimiento se debe repetir 50 veces (25 veces cada extremo) para cada una de las capas.

Se debe enrasar la superficie con ayuda regleta, luego de compactada la capa última, de manera que el material sobrante se compense con las irregularidades con respecto al plano de superficie enrasada. Utilizar la balanza para precisar el peso del recipiente lleno de agregado y el peso del recipiente solo, anotar estos pesos con aproximaciones de 0,05 kg (0,11lb).

3.7. Análisis granulométrico

Procedimiento.

Secar la muestra a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener peso constante.

Nota 1. Cuando se desea resultados rápidos, no es necesario secar el agregado grueso para el ensayo debido que el resultado es poco afectado por el contenido de humedad a menos que:

- a) El Tamaño Máximo nominal sea menor de 12 mm (1/2")
- b) El agregado grueso tenga una cantidad apreciable de finos menos que el tamiz N° 4,75 mm (N°4).
- c) El agregado grueso sea latamente absorbente (por ejemplo, los agregados ligeros.)

d) También se puede utilizar planchas calientes para secar las muestras a temperaturas elevadas, sin que alteren los resultados, si se conservan los escapes de vapor sin originar presiones que puedan fracturar las partículas y temperaturas que no sean elevadas o que puedan causar el rompimiento químico del agregado.

Elegir la serie de tamices de tamaños idóneos que permitan cumplir con las especificaciones del material que se va a ensayar. Los tamices se deben acoplar de forma decreciente, respecto al tamaño de la abertura de las mallas, luego se debe verter el material sobre el tamiz colocado en la parte superior. El tamizado se debe realizar con ayuda de un tamizador mecánico o de forma manual, durante un tiempo óptimo.

Restringir el volumen de material en un tamiz determinado, con el objetivo de que todas las partículas puedan llegar a las aberturas del tamiz en varias oportunidades mientras dure el periodo del tamizado.

Se debe tamizar por un tiempo conveniente, con tal de que, una vez terminado el proceso, el material no debe pasar más del 1% de la porción en peso contenida por cada tamiz, a lo largo de un 1 minuto de tamizado manual como se describe: sujetar cada tamiz, con un fondo bien apretado y su tapa, con la mano en una postura semi inclinada. Dar continuos golpes al filo del tamiz, moviendo hacia arriba contra la palma de la otra mano, a velocidad aproximada de 150 golpes por minuto, rotando el tamiz en cada serie de 25 golpes un aproximado de 1/6 de vuelta.

Determinar el peso de la muestra retenido en cada tamiz.

El peso total del material después del tamizado, debe ser verificado con el peso original de la muestra ensayada. Si la cantidad difiere en más del 0.3% del peso

seco original de la muestra, el resultado no debe ser usado con fines de aceptación.

3.8. Peso específico y absorción

3.8.1. Absorción y Peso específico del agregado fino

Procedimiento

Colocar en la fiola graduada una muestra de 500 g de agregado fino preparado, luego se procede a rellenar con agua a una temperatura de 23 ± 2 °C hasta llegar a la marca de 500 cm^3 . Sacudir la fiola de manera manual o mecánica con el objetivo de quitar las burbujas de aire atrapadas. Este proceso se debe realizar por un periodo de entre 15 a 20 minutos, que es el requisito convencional para suprimir las burbujas de aire de forma manual. En el caso se realice de forma mecánica, se debe quitar las burbujas de aire mediante la vibración externa siempre y cuando esta no degrade la muestra.

Una vez eliminada las burbujas de aire, se debe ajustar la temperatura promedio del frasco y el contenido a 23 ± 2 °C, y volver a llenar la fiola hasta la marca de calibración.

Utilizar la balanza digital para precisar el peso final, del frasco más agua, más espécimen.

Retirar el material de la fiola, luego se procede a secar en una estufa a temperatura de 110 ± 5 °C hasta un peso constante, luego dejar enfriar a temperatura ambiente por $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ hora y pesar.

3.8.2. Absorción y Peso específico del agregado grueso

Procedimiento

Secar la muestra a peso constante, a una temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, ventilar en lugar fresco a temperatura ambiente de 1 a 3 horas para muestras de ensayo de tamaños máximos nominales de 37,5 mm (1 ½ pulg) o mayores para tamaños más grandes hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C). Inmediatamente sumergir el agregado en agua a una temperatura ambiente por un período de $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$.

Nota 1. Cuando se ensaya agregado grueso de tamaños máximos nominales mayores, sería conveniente realizar el ensayo en dos o más submuestras, y los valores obtenidos combinarlos por cómputo.

Cuando los valores de peso específico y la absorción van a ser usados en proporcionamiento de mezclas de hormigón (concreto) en los cuales los agregados van a ser usados en su condición natural de humedad, el requerimiento inicial de secado a peso constante puede ser eliminada y, si las superficies de las partículas de la muestra van a ser mantenidas continuamente húmedas antes de ensayo, el remojo de 24 h puede ser eliminado.

Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible, aunque la superficie de las partículas aún parezca húmeda. Secar separadamente en fragmentos más grandes. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca. Se determina

éste y todos los demás pesos con aproximación de 0,5 g o al 0,05% del peso de la muestra, la que sea mayor.

Después de pesar, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua a una temperatura entre $23\text{ °C} \pm 1,7\text{ °C}$, densidad $997 \pm 2\text{ kg/m}^3$. Tener cuidado de remover todo el aire atrapado antes del pesado sacudiendo el recipiente mientras se sumerge.

Secar la muestra hasta peso constante, a una temperatura entre $100\text{ °C} + 5\text{ °C}$ y se deja enfriar hasta la temperatura ambiente, durante 1 a 3 h o hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura que sea cómoda al tacto (aproximadamente 50 °C) y se pesa.

3.9. Abrasión a los Ángeles

Procedimiento

Colocar la muestra de ensayo y la carga en la máquina de Los Ángeles y rotarla a una velocidad entre 30 rpm a 33rpm, por 500 revoluciones. Luego del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra, sobre el tamiz normalizado de 1,70 mm (N° 12). Tamizar la porción más fina que 1,70 mm conforme al Modo Operativo MTC E 204. Lavar el material más grueso que la malla de 1,70 mm y secar al horno a $110 \pm 5\text{ °C}$, hasta peso constante y determinar la masa con una aproximación a 1 g.

Si el agregado está esencialmente libre de revestimiento y polvo el requerimiento de lavado puede ser obviado, pero siempre se requiere secar antes del ensayo.

Por lo tanto, en el caso del ensayo de arbitraje se efectuará el lavado.

Nota 5. La eliminación del lavado después del ensayo raramente reducirá las pérdidas de medida en más de 0,2 % de la masa original de la muestra.

Nota 6. Información válida sobre la uniformidad de la muestra de ensayo podrá obtenerse por la determinación de la pérdida luego de 100 revoluciones. Esta pérdida podría ser determinada sin lavado del material más grueso que el tamiz normalizado de 1,70 mm (N° 12). La relación de la pérdida después de 100 revoluciones frente a la pérdida luego de 500 revoluciones no excedería mayormente 0,20 para material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, tener cuidado de evitar pérdida de alguna parte de la muestra, retornar la muestra entera incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales requeridas para completar el ensayo.

3.10. Contenido de humedad

Procedimiento

Se colocó la muestra en una tara y se determinó el peso de la tara y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen y se registró este valor.

Se colocó el material húmedo en el horno y se secó el material hasta alcanzar una masa constante a 110 ± 5 °C.

En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente.

Luego que el material se secó a peso constante, se removió la tara del horno. Se determinó el peso de la tara y el material secado al horno usando la misma balanza usada en este ensayo. Se registró este valor.

Se obtuvo un Contenido de Humedad en el Agregado Fino de 0.47 y en el Agregado Grueso de 0.24.

3.11. Diseño de mezcla del concreto hidráulico

3.11.1. Elección de la resistencia promedio ($f'c$)

El diseño de mezcla del concreto se debe elaborar considerando una resistencia promedio conservadora, lo cual siempre este valor está muy por encima de la resistencia de diseño requerida para el proyecto.

La desigualdad entre la resistencia de diseño y la resistencia promedio está evaluada y se establece respecto al grado de control de la uniformidad y de la calidad del concreto.

En este caso se eligió un $f'c$ de 280kg/cm^2 resistencia óptima y requerida para el diseño de pavimentos.

3.11.2. Cálculo de la desviación estándar

Basados en el autor Pasquel Carbajal (1998), para precisar la desviación estándar se debe evaluar si se dispone de resultados de al menos 30 ensayos (60 testigos) consecutivos de un tipo de concreto o de dos grupos de resultados no consecutivos que en total acumulen al menos 30 ensayos de concreto que sean representativo de materiales, condiciones de obra y control de calidad similares a los del proyecto que se ejecutará, se puede aplicar en las fórmulas el valor de D_s calculando en base a estos datos, siempre que el orden de magnitud de las resistencias disponibles no difieran en más de 70 kg/cm^2 con el $f'c$ especificado.

Cuando no se dispone de al menos 30 ensayos, el reglamento considera que el valor de D_s que se calcule, deberá incrementarse de acuerdo a los valores de la tabla 10 para poder emplearse en las fórmulas.

Cuando no se dispone de ninguna información estadística, el ACI-318 indica que deben utilizarse los valores de $f'cr$ de la tabla 11.

La norma establece que se podrán reducir los valores de f'_{cr} asumidos inicialmente, cuando al disponerse de resultados de al menos 30 ensayos (60 testigos), el promedio excede el valor de f'_{cr} inicial, para lo cual se recalculará en función a la desviación estándar real que se esté obteniendo. (p. 163).

Tabla 10
Incremento de valores de desviación estándar cuando se tiene menos de 30 ensayos.

Número de Ensayos	Factor de incremento
Menos de 15	Usar tabla 11
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

Fuente. *Tópicos de tecnología de concreto, Pasquel Carbajal, 1998.*

Tabla 11
 f'_{c} aplicable cuando no se dispone de resultados para definir la desviación estándar.

f'_{cr} Especificado	f'_{cr} (kg/cm ²)
210	$f'_{c} + 70$
210 a 350	$f'_{c} + 84$
Mayor de 350	$f'_{c} + 98$

Fuente. *Tópicos de tecnología de concreto, Pasquel Carbajal, 1998.*

Para las condiciones indicadas la desviación estándar se calculará a partir de los resultados con que se cuenta, aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Desviación estándar (Ds).

$$Ds = \sqrt{\frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{n - 1}} \dots \dots \dots (5)$$

Dónde:

n = Numero de ensayos de la serie.

$X_1, X_2 \dots X_n$, = Resultados de resistencia de muestras de ensayos individuales

X = Promedio de todos los ensayos individuales de una serie.

Si se utiliza dos grupos de registros de resultados de muestras de ensayo para totalizar por lo menos 30, la desviación estándar a ser empleada en el cálculo de la resistencia promedio, deberá ser el promedio estadístico de los valores calculados para cada grupo de ensayos.

Para determinarla se utilizará la siguiente ecuación:

$$\check{S} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)(s_1)^2 + (n_2 - 1)(s_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}} \dots \dots \dots (6)$$

Ecuación 6. Promedio estadístico de las desviaciones estándar (\check{S}) cuando se utiliza los registros de ensayo para calcular la desviación estándar, en kg/cm^2

Dónde:

S_1, S_2 = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente, en kg/cm^2 .

n_1, n_2 = Numero de ensayos en cada grupo, respectivamente.

3.11.3. Cálculo de la resistencia promedio requerida (f'_{cr})

El ACI-318 establece que el valor f'_{cr} a usarse será el mayor que resulte de la aplicación de las fórmulas:

$$f'_{cr} = f'_{c} + 1.34 D_s \dots \dots \dots (7)$$

$$f'_{cr} = f'_{c} - 35 + 2.33 D_s \dots \dots \dots (8)$$

Ecuación 7. Resistencia promedio requerida.

Ecuación 8. Resistencia promedio requerida.

Dónde:

Para una posibilidad del 1% de que la media de 3 resultados de ensayos sea inferior a la resistencia de diseño, se tiene la ecuación (6). Y para una posibilidad de que los resultados de cada ensayo sean inferiores a 35 kg/cm² respecto a la resistencia de diseño indicada, se tiene la ecuación (7).

Si no se tiene resultados de ensayos registrados anteriormente, que faciliten precisar la desviación estándar según lo establecido anteriormente, se estimará la resistencia promedio requerida, utilizando los valores de la Tabla 11.

Según lo especificado, el cálculo de nuestra resistencia promedio requerida es de 364 kg/cm².

3.11.4. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

La norma ITINTEC 400.037 define al “Tamaño Máximo” como aquel que “corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso”.

La norma ITINTEC 400.037 define al “Tamaño Máximo Nominal” como aquel que “corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”.

La Tabla 12 presenta las curvas granulométricas que corresponden a tamaños nominales comprendidos entre 2” y 3/8”. Esta tabla corresponde a la clasificación de la Norma ASTM C 33.

Tabla 12
Valores requeridos para la granulometría del agregado grueso.

Tamaño	Porcentaje que pasan por las siguientes Mallas							
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8
Máximo								
Nominal								
2"	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-
1 1/2"	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-
1"	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5
3/4"	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5
1/2"	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
3/8"	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10

Fuente. *Diseño de mezclas - Rivva López*

Las normas para el diseño de estructuras aconsejan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso debe ser el mayor tamaño disponible de menor costo, siempre y cuando este acorde con las medidas y características de la estructura. El “ACI 318” y el “Reglamento Nacional de Edificaciones” E. 060 establece que el agregado grueso nunca debe ser mayor de:

- 1/5 de la menor dimensión entre las caras de encofrados;
- 1/3 del peralte de la losa;
- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de refuerzo.

Para el diseño de mezcla de esta investigación se utilizará un TMN de 3/4”.

3.11.5. Selección del asentamiento (slump)

Una de las propiedades del concreto en su estado fresco es la consistencia, la capacidad de acomodarse o el nivel de humedad de la mezcla. Según su consistencia o trabajabilidad, las mezclas se pueden categorizar en:

- Mezclas secas; en las que el Slump está comprendido entre 0” y 2” (0 cm a 5cm).
- Mezclas plásticas; en las que el Slump está comprendido entre 3” y 4” (7.5 cm a 10cm).
- Mezclas fluidas; en las que el Slump es mayor a 5” (mayor a 12.5cm).

En el caso de que las especificaciones técnicas del proyecto no precisen la trabajabilidad o consistencia requerida para la elaboración de la mezcla de concreto, se puede utilizar la tabla 13 para estimar un slump conveniente de acuerdo al trabajo que se pretende ejecutar. Se sugiere utilizar las mezclas de la consistencia más espesa y que sea posible colocarla de forma efectiva.

Tabla 13
Slump recomendado para diferentes tipos de construcción.

Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
- Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
- Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
- Vigas y muros armados	4"	1"
- Columnas de edificios	4"	1"
- Losas y pavimentos	3"	1"
- Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente. *Diseño de mezclas - Rivva López*

Para la elaboración del diseño de mezcla de esta investigación se determinó un valor de Slump de 4".

3.11.6. Elección de agua de mezclado y contenido de aire

La elección del volumen unitario de agua hace referencia a la especificación del volumen de agua que hay que agregar a la mezcla, por 1 unidad cubica de concreto, y así conseguir una trabajabilidad determinada siempre que los agregados presentan estado seco. La tabla 14 está diseñada en función a los requerimientos del Comité 211 del ACI. En esta se aceptó elegir el volumen unitario de agua, mezclas de concreto elaborado sin o con aire incorporado; considerando la trabajabilidad que se busca para la mezcla y el TMN del agregado grueso determinado.

Tabla 14

Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua en 1/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"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Tabla confeccionada por el comité 211 del ACI

Fuente. Diseño de mezclas - Rivva López

La cantidad de agua de la tabla facilita la determinación del factor cemento para mezclas preliminares de muestra. Los cuales son máximos valores respecto al agregado grueso de perfil angular, así como también la granulometría comprendida dentro de los valores establecidos en la Norma ASTM C-33.

En la Tabla 14 se aprecia que no se considera para el cálculo del agua de mezcla las características como la incidencia del perfil, textura y granulometría de los agregados. Se debe recalcar que los valores tabulados son aproximados para el primer cálculo y que, dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, las cantidades sugeridas de agua para la mezcla pueden variar respecto de dichos valores. De la misma

forma, es válido usar la Tabla 15 que ha sido elaborada, por el Departamento de Concreto del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los siguientes valores de la tabla facilitó precisar el volumen unitario de agua, considerando, aparte de la trabajabilidad y el TMN del agregado, el perfil realizado.

Cabe mencionar que los valores de las Tablas pertenecen a mezclas sin aire incorporado y se debe ser reajustado respecto al porcentaje de absorción y contenido de humedad de los agregados.

Tabla 15
Volumen unitario de agua.

Volumen unitario de agua, expresado en lt/m ³ , para los						
TMN del	Asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
	1" a 2"		3" a 4"		6" a 7"	
Agregado Grueso	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular	Agregado Redondeado	Agregado Angular
3/8"	185	212	201	227	230	250
1/2"	182	201	197	216	219	238
3/4"	170	189	185	204	208	227
1"	163	182	178	197	97	216
1 1/2"	1	167	163	185	185	204
2"	148	163	163	178	178	197
3"	136	151	151	167	163	182

Fuente. *Diseño de mezclas - Enrique Rivva López*

Los valores de ambas tablas pueden ser empleadas con seguridad en la estimación preliminar de las proporciones de la mezcla. En aquellos en que el agregado posee características que obligan a un aumento en el volumen de agua, deberá aumentarse igualmente el contenido de cemento a fin de mantener invariable la relación agua-cemento, excepto si los resultados de los ensayos de resistencia realizados con mezclas de prueba preparadas en el Laboratorio indican que tal incremento no es necesario.

3.11.7. Elección de la relación agua/cemento (a/c)

Desde que la mayoría de las propiedades deseables en el concreto endurecido dependen de la calidad de la pasta, producto final del proceso de hidratación del cemento, se considera que una de las etapas fundamentales en la selección de las proporciones de una mezcla de concreto es la elección de la relación agua-cemento más adecuada.

La relación agua-cemento de diseño, que es el valor a ser seleccionado de las Tablas 16 y 17, se refiere a la cantidad de agua que intervino en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir q no toma ni aporta agua. La relación agua-cemento efectiva se refiere a la cantidad de agua de la mezcla cuando se tiene en consideración la condición real de humedad del agregado.

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

a. Por resistencia. La elección del factor agua - cemento para el diseño de concreto por resistencia, utiliza principio de que esta propiedad es sencillamente calculable dentro de algunas restricciones, es una proporción de cuantificar el volumen de agua respecto al material cementante para una unidad cúbica de mezcla de concreto.

El comité 211 del ACI, prepara una tabla (Tabla 16), la cual brinda las relaciones de agua – cemento en peso, estableciendo las máximas aceptables para los valores de resistencia promedio requerida, para ambos casos de incorporación de aire.

Tabla 16
Relación Agua/cemento por Resistencia.

f'cr (28 días)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire	Concretos con aire
	incorporado	incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente. *Diseño de mezclas - Rivva López*

b. Por durabilidad. Esta forma para la cuantificación del factor agua – cemento destaca la relevancia que se debe establecer, aparte de la capacidad de resistencia a la compresión, las exigencias de durabilidad, que en nuestro caso es determinante en el diseño de pavimentos rígidos.

El Norma E.060 dispone lo siguiente, para la el diseño de concretos de pequeños valores de permeabilidad, o si el concreto va a estar expuesto a procesos de congelación y/o deshielo en condiciones húmedas. Se exige que el concreto debe obedecer los requerimientos descritos en la tabla 17.

Tabla 17
Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.

Condiciones de exposición	Relación agua/cemento máximo
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.5
b) Expuesto a agua de mar o aguas saladas.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales.	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.50
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salubres, neblina o roció de esta agua.	0.40
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm.	0.45

(*) La resistencia $f'c$ no deberá ser menor de 245 kg/cm^2 por razones de durabilidad.
 Fuente. *Diseño de mezclas - Rivva López*

3.11.8. Cálculo del contenido de cemento

Conocidos el volumen unitario de agua por unidad de volumen del concreto y la relación agua-cemento seleccionada, se pudo determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante el simple expediente de dividir el volumen unitario de agua, expresado en litros por metro cubico, entre la relación agua-cemento, obteniéndose el número de kilos de cemento de la unidad cúbica de concreto.

3.11.9. Elección del agregado

La elección de las porciones de los agregados en 1 unidad cúbica de mezcla de concreto busca conseguir la mezcla óptima, teniendo el mínimo de pasta, y así se obtengan las características deseadas en el concreto.

Se determinó el contenido de agregado grueso mediante la tabla 18, elaborada por el Comité 211 del ACI, en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de fineza del agregado fino. Ello permitió obtener un coeficiente b/b_0 resultante de la división del peso seco del agregado grueso requerido por la unidad cúbica de concreto entre el peso unitario seco y varillado del agregado grueso expresado en kg/m^3 .

Tabla 18

Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

Tamaño máximo del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*), por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
	Módulo de fineza del agregado fino			
Pulg.	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"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

 Fuente. *Diseño de mezclas - Rivva López*

La norma ASTM C-29 define que el agregado grueso, tiene que ser seco compactado.

El valor de la cantidad de agregado grueso, facilita conseguir concretos con una consistencia óptima para concreto convencional. Para los concretos con baja trabajabilidad, así como los requeridos para ser utilizados en pavimentos rígidos, el factor podría aumentar en un 10%. En las mezclas de concreto con mayor trabajabilidad, así como los que son bombeados, los factores podrían disminuir en un 10%.

Con el método del Comité 211 del ACI se determinó el volumen absoluto de agregado fino por diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire, y agregado grueso seco.

El volumen absoluto, o volumen desplazado por los diferentes ingredientes de la unidad cúbica de concreto, conocido también como volumen de sólidos, es igual al peso con que entra dicho material en la unidad cúbica de concreto dividido entre su peso sólido, definido este último como el producto del peso específico del material por el peso unitario de agua.

3.11.10. Ajuste por humedad del agregado

Se debe tomar en cuenta la cantidad de agua que posee la porción pesada del agregado que se ha de utilizar. Comúnmente en las obras los agregados están húmedos, por ello deberá aumentarse a su peso seco la porción de agua que poseen, ya sea la superficial o la absorbida.

La cantidad de agua adicionada al mixer o mezcladora, se debe descontar en una cantidad de volumen equivalente a la cantidad de agua superficial o agua aportada por los agregados, teniendo en cuenta el contenido de humedad restado el valor de absorción en porcentaje.

Según la humedad del agregado, este se puede encontrar en 4 situaciones:

- Seco, en el caso de que este exento de agua, ya sea en sus poros como de forma superficial. Cualidad teórica para que se calcule las proporciones de agregados previo a la corrección por humedad de los agregados.
- Semiseco, en el caso de que los poros estén con agua de forma parcial, aunque su superficie se aprecie seca. Esta situación también se denomina como secado al aire. La cual se cumple que siempre la absorción del agregado es mayor.

- Saturado superficialmente seco, en el caso de que sus poros estén saturados con agua y se aprecia una superficie húmeda del agregado. Esta situación es recomendada puesto que su estado óptimo no aporta de quita agua de la mezcla.
- Húmedo o mojado, esto sucede en el caso en que tanto los poros como la superficie están saturados de agua, esto ayuda a aumentar la cantidad de agua de la mezcla y exige una corrección en el diseño.

A continuación, se describen las nociones de contenido de humedad, absorción, y humedad superficial:

- La cualidad de absorber agua de un agregado, está determinada por el volumen de agua necesario para ir de condición seca a condición saturado superficialmente seco. Comúnmente esta expresado en porcentaje.

$$\%Absorción = 100 \times \frac{(SS - S)}{S}$$

Dónde:

SS = Peso del agregado al estado saturado superficialmente seco.

S = Peso del agregado al estado seco.

- La porción de agua que posee un material respecto a su condición seca se le denomina contenido de humedad del agregado, y está denotado por la siguiente fórmula.

$$C.H. = 100 \times \frac{(H - S)}{S}$$

Dónde:

H = Peso del material natural

S = Peso del material seco

- La diferencia entre el C.H. y el porcentaje de absorción, se le denomina humedad superficial. Este valor puede ser positivo o negativo según sea el caso, como por ejemplo se considera positiva cuando el agregado aporta cierta cantidad de agua a la mezcla y esta cantidad debe ser corregida para poder determinar el agua efectiva; o se considera negativa, en el caso de que el agregado quite una porción de agua de mezcla con el fin de llegar a la condición de saturado superficialmente seco, exigiendo la adición del volumen de agua para no variar el agua de diseño.

Para la rectificación las porciones en la mezcla por humedad de los agregados podrían darse 3 casos:

- (a) Los 2 agregados aportan agua;
- (b) 1 de los agregados contribuya con agua y el restante jale agua de la mezcla;
- (c) Los 2 agregados quiten el agua de la mezcla.

3.12. Procedimiento para la elaboración de especímenes de concreto adicionando viruta de acero.

El objetivo es establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración.

Materiales y equipos:

- **Moldes:** Los moldes para los testigos y las bases que van a estar en contacto con el concreto deben ser de acero u otro material que no absorba humedad y que no altere las propiedades del concreto que se va a elaborar. Estos deben tener las dimensiones especificadas y requeridas según el manual de ensayo de materiales, de acuerdo al método que se va a utilizar para los ensayos. También tienen que poseer hermetismo, con el objetivo de no dejar escapar el agua de la mezcla.
- **Varilla compactadora:** Esta debe ser de acero u otro material de las mismas características de los moldes, además deben ser uniformes y de forma cilíndrica. Los diámetros pueden ser variables, pero se recomienda de 5/8” con 24” de longitud o diámetro de 5/8” con 12” de longitud.
- **Martillo:** Este puede ser de goma o caucho, que pese $0,57 \pm 0,23$ kg
- **Recipientes para muestreo y mezcla:** Estas deben ser transportables, accesibles, impermeables, de formas y dimensiones que faciliten la cuantificación de los materiales a utilizarse.
- **Mezcladora de concreto:** Esta puede ser mecánica o manual. Para esta investigación se utilizó la mezcladora tipo trompo, debido a la cantidad de mezcla que se iba a preparar y considerando una trabajabilidad de 4”.
- **Equipo Misceláneo:** Equipo para mezclas, mediciones, entre otros materiales necesarios para la elaboración de concreto.

- **Número de muestras:** La cantidad de testigos de concreto y el número de ensayos dependen del tipo de proyecto a elaborarse. Comúnmente, este número lo brindan los métodos de ensayo o las especificaciones para el proyecto.

Se debe elaborar un mismo número de testigos para cada ensayo.

Regularmente, las edades para los ensayos son a los 7, 14 y 28 días para resistencia a la compresión, y a edades de 14 y 28 días para ensayos de flexión.

3.12.1. Procedimiento para preparación de la mezcla

El diseño y la elaboración debe considerar un 10% de desperdicio luego de haber preparado los especímenes de ensayo.

- **Mezcla con maquina:** Previo a la puesta en marcha de la mezcladora, se debe colocar el agregado grueso con una pequeña porción de agua que se ha de usar en la mezcla, y la dosificación de aditivo según sea requerido. En lo posible se debe procurar que el material de adición se disperse en un poco de agua antes de su introducción al mezclado. Luego, después de algunas rotaciones se agrega el agregado fino, posteriormente el cemento y por último el resto del agua, con la mezcladora trabajando.

Luego de ello, se deja mezclar por un tiempo aproximado de 3 minutos contados desde el instante en el que todos los materiales estén dentro del mixer. Terminado eso, se detiene la mezcladora por otro periodo de tiempo de 3 minutos y se vuelve a poner en funcionamiento por 2 minutos finales.

Se recomienda cubrir la boca de la mezcladora durante el descanso, a fin de evitar en lo más mínimo la evaporación del agua de mezcla.

Al finalizar se recomienda restaurar todo el material mezclado disponible a fin de que el volumen de la mezcla no disminuya a causa de la adherencia a la mezcladora, y así mantener el volumen requerido.

Posteriormente la mezcla de concreto se toma en un contenedor limpio y seco y que evite la segregación rápida de la mezcla.

3.12.2. Procedimiento para el Vaciado del Concreto

- **Lugar del moldeo:** Se indica que se debe ubicar los moldes lo más cercano posible al lugar de mezclado, sin que esta sobrepase de 50 metros, y que permitan el fraguado por 24 horas, este debe permitir el acceso y debe encontrarse libre de golpes, inclinaciones, vibraciones o sacudidas.
- **Colocación:** La mezcla se debe verter en los moldes con ayuda de un palustre o algo parecido. Seleccionando una muestra representativa por cada palada, y se recomienda batir o remezclar durante el moldeo de los especímenes, con el objeto de prevenir la segregación. Luego se dispensa la mezcla ayuda de la varilla. La capa última de vaciado debe sobrepasar el ras del molde para garantizar el llenado absoluto del molde. Todos los moldes deben estar llenados en su totalidad.
- **Número de capas:** La cantidad de capas con el cual se elabora serán según lo indicado en la tabla 19.

- **Compactación:** El método de compactación está basado en la tabla 19, de acuerdo al valor de consistencia o trabajabilidad, para concreto de 4" se utilizó el método de compactación por varillado.

Tabla 19

Numero de capas requeridas en la elaboración de las mezclas.

Tipo de tamaño de la muestra en mm (pulgadas)	Método de Compactación	Número de Capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulgadas)
Cilindros			
Hasta 300 (12)	Apisonado(varillado)	3 iguales	
Mayor que 300 (12)	Apisonado(varillado)	las requeridas	100 (4)
Hasta 460(18)	Vibración	2 iguales	
Mayor que 460(18)	Vibración	3 ó mas	200(4)
Prismas			
Hasta 200(8)	Apisonado(varillado)	2 iguales	
Mayor que 200(8)	Apisonado(varillado)	3 ó mas	100 (4)
Hasta 200(8)	Vibración	1	
Mayor que 200(8)	Vibración	2 ó mas	200(8) C172

 Fuente. *Manual de ensayo de materiales – MTC*

- **Apisonado por varillado.** Se debe colocar la mezcla de concreto en el molde con la cantidad de capas indicadas en la tabla 19, de similar volumen cada capa.

Se apisona cada una de las capas con un extremo de la varilla, empleando la cantidad de golpes y la dimensión de la varilla según lo indicado en la

Tabla 20. La primera capa se compacta insertando la varilla apisonadora hasta el fondo del molde. La repartición de golpes por capa deberá ser homogéneo para toda la sección del molde. Para las siguientes capas se debe introducir la varilla hasta pasar un aproximado de 12 mm (½") la capa inferior. La penetración de la varilla en las capas no debe dejar huecos, en el caso esto sucede se debe dar unos pequeños golpes en los costados, con el fin de eliminarlos.

Tabla 20
Diámetro de varilla y número de golpes por capa

CILINDROS		
Diámetro del cilindro mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75
VIGAS Y PRISMAS		
Área de la superficie superior de la muestra en cm ² (pulg ²)	Diámetro de varilla en mm (pulgadas)	Número de golpes por capa
160 (25)	10 (3/8)	25
165 (26) a 310 (49)	10 (3/8)	1 por cada 7cm ² (1 pulg ²) de área
320 (50) o más	16 (5/8)	1 por cada 14cm ² (2pulg ²) de área

Fuente. *Manual de ensayo de materiales – MTC*

En la elaboración de nuestros ensayos se trabajó con moldes de 150mm de diámetro por lo cual se empleó una varilla de 5/8” y la cantidad de golpes por capa fue de 25.

- **Acabado.** Una vez terminada la compactación, realizar el pulido con el mínimo manejo de los testigos, a fin de tener una cara superficial lisa y homogénea respecto a la altura de los bordes de los moldes cilíndricos, y no tenga prominencias superiores a los 3.2 mm.

3.12.3. Curado de los especímenes de concreto.

- **Cubrimiento después del acabado.** Con el fin de omitir la evaporación del agua de mezcla, se procedió a cubrir los especímenes de concreto con láminas de plástico impermeables y que no alteren las características físicas y mecánicas de la mezcla. Sin embargo, también es aceptable el uso de lonas húmedas para la protección de las muestras, pero se recomienda evitar el contacto directo con dicho material.
- **Extracción de la muestra.** Los testigos de concreto fueron movidas y liberadas en un periodo de tiempo no inferior a 20 horas, ni superior a los 2 días, contado desde su elaboración, siempre y cuando no se utilicen aditivos acelerantes o retardantes, en ese caso se debe revisar las especificaciones y plantear un tiempo diferente al mencionado.

- **Ambiente de curado:** Los especímenes de concreto se conservaron a temperatura ambiente de $23,0^{\circ} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ desde que se realizó el moldeo hasta la realización del ensayo.

La condición de humedad debe lograrse por inmersión de la muestra sin el molde en agua. Se permitió lograr la condición de humedad por el almacenamiento en un cuarto húmedo.

No deben exponerse los especímenes a condiciones de goteo o de corrientes de agua.

Debió evitarse que se sequen las paredes de la muestra luego del periodo de curado.

3.13. Asentamiento (Slump)

a. Molde:

Debió ser metálico, inatacable por el concreto, con espesor de lámina no inferior a 1,14 mm (0,045"). Su forma interior debió ser la superficie lateral de un tronco de cono de 203 ± 2 mm ($8'' \pm 1/8''$) de diámetro en la base mayor, 102 ± 2 mm ($4'' \pm 1/8''$) de diámetro en la base menor y 305 ± 2 mm ($12'' \pm 1/8''$) de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debió estar provisto de agarraderas y de dispositivos para sujetarlo con los pies, como se indica en la Figura 17. La costura de la lámina debe ser esencialmente como la indicada en la Figura 17. El interior del molde debe estar libre de abolladuras, ser liso y sin protuberancias.

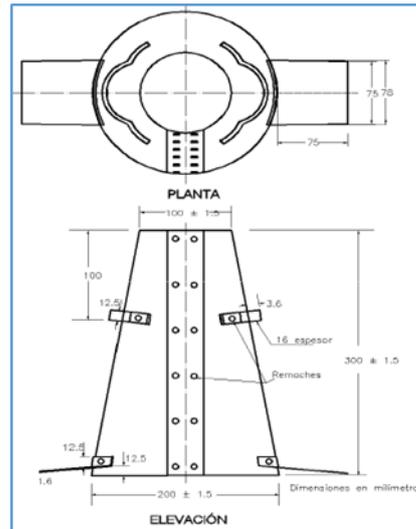


Figura 18. Molde para determinar el Asentamiento
Fuente. Manual ensayo de materiales – MTC

Varilla compactadora: Debió ser de hierro liso, cilíndrica, de 16 mm (5/8") de diámetro y de longitud aproximada de 600 mm (24"); el extremo compactador debe ser hemisférico con radio de 8 mm (5/16") como se muestra en la figura 18.

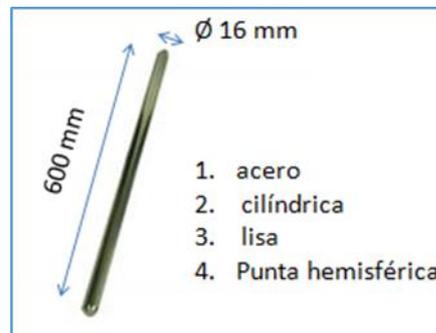


Figura 19. Varilla compactadora
Fuente. Manual ensayo de materiales – MTC

- b. Procedimiento.** Siguiendo el procedimiento indicado en la Norma MTC E-705 basado en las Normas ASTM C 143 y AASHTO T 119, primero se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal rígida, plana, húmeda y no absorbente.

Se sujeta firmemente con los pies y se llena con la muestra de concreto en tres capas, cada una de ellas de un tercio. Cada capa debe compactarse con 25 golpes de la varilla, distribuidos uniformemente sobre su sección transversal. Para la capa del fondo es necesario inclinar ligeramente la varilla dando aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro y avanzando con golpes verticales en forma de espiral, hacia el centro. La capa del fondo debe compactarse en todo su espesor; las capas intermedia y superior en su espesor respectivo, de modo que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior. Al llenar la capa superior debe apilarse concreto sobre el molde antes de compactar. Si al hacerlo se asienta por debajo del borde superior, debe agregarse concreto adicional para que en todo momento haya concreto sobre el molde. Después de que la última capa ha sido compactada debe alisarse a ras la superficie del concreto.

Inmediatamente se retira el molde, se alza cuidadosamente en dirección vertical. El alzado del molde debe hacerse en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos, mediante un movimiento uniforme hacia arriba, sin que se imparta movimiento lateral o de torsión al concreto.

Inmediatamente después, se midió el asentamiento, determinando la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen, como se puede ver en la Figura 19.

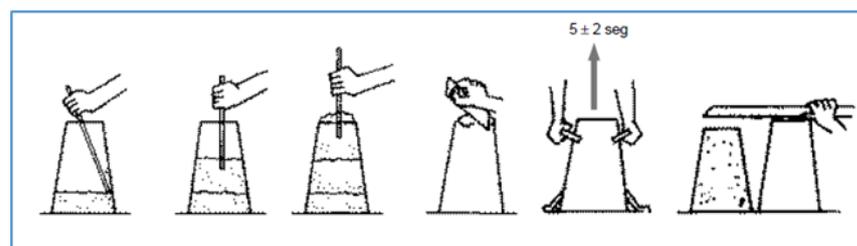


Figura 20. Procedimiento para el asentamiento del concreto fresco
Fuente. Ing. José Álvarez Cangahuala

3.14. Resistencia a la compresión

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste.

Los resultados de este ensayo se pueden usar como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto; para el cumplimiento de especificaciones y como control para evaluar la efectividad de aditivos y otros usos similares.

Se debió tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de la resistencia a la compresión mediante este método de ensayo, por cuanto la resistencia no es una propiedad intrínseca fundamental del concreto elaborado con determinados materiales.

Los valores obtenidos dependen del tamaño y forma del espécimen, de la tanda, de los procedimientos de mezclado, de los métodos de muestreo, moldes y fabricación, así como de la edad, temperatura y condiciones de humedad durante el curado.

Tabla 21
 Tolerancias

Edad del Ensayo	Edad del Ensayo
12 horas	0.25 o 2.1 %
24 horas	± 0.5 horas o 2.1%
3 días	2horas o 2.28%
7 días	6 horas o 3.6%
28 días	20 horas 3,0%
56 días	40 horas o 3.0%
90 días	2dias o 2.2%

Fuente. *Manual de ensayo de materiales – MTC*

a. Procedimiento

- **Colocación de la Muestra:** Se colocó el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque superior.

Se limpió con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se colocó el espécimen sobre el bloque inferior.

Se alineó cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de presión del bloque superior. El bloque con rótula se tuvo que rotar inmediatamente antes de proceder al ensayo, para asegurar la libertad de movimiento requerida.

Antes de ensayar el espécimen se debió verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero.

- **Velocidad de Carga:** Se aplicó la carga continuamente sin golpes bruscos.

La carga se debió aplicar a una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de carga comprendida en el rango de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (35 ± 7 psi/s). La velocidad escogida se tuvo que mantener, al menos, durante la segunda mitad del ciclo de ensayo, para la fase de carga prevista. Sin embargo, no se deberá ajustar la velocidad de movimiento a medida que se está alcanzando la carga última y la tasa de aplicación de carga decrece debido al agrietamiento del cilindro.

Durante la aplicación de la primera mitad de la fase de carga prevista, se permite una velocidad de carga mayor, siempre que ésta se controle para evitar cargas por impacto.

Para máquinas de tipo tornillo o de deformación controlada, se requiere un ensayo preliminar para establecer la velocidad de movimiento requerida para generar la tasa de carga especificada. Dicha velocidad dependerá del tamaño del cilindro, del módulo elástico del concreto y de la rigidez de la máquina de ensayo.

Cuando se ensayan cilindros sin refrentar, puede ocurrir una fractura de esquina antes de alcanzar la carga última; en tal caso se debe continuar la compresión hasta que se tenga la certeza de haber alcanzado la carga última.

Se registró la carga máxima soportada por el cilindro durante el ensayo y se anotó el patrón de falla de acuerdo con los modelos de la Figura 20, si se ajusta a alguno de ellos. En caso contrario se harán un dibujo y una descripción del tipo de falla producido.

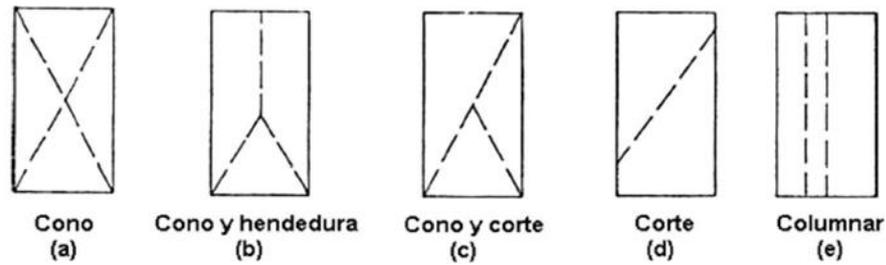


Figura 21. *Esquemas de tipos de falla.*
Fuente. *Manual de Ensayo de Materiales del MTC.*

3.15. Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas de los tercios del tramo.

Las muestras debieron tener una distancia libre entre apoyos de al menos, tres veces su altura, con una tolerancia del 2%. Los lados de la muestra debieron formar ángulos rectos con las caras superior e inferior. Todas las superficies en contacto con los bloques de aplicación de carga y de soporte deben ser suaves y libres de grietas, indotaciones, agujeros o inscripciones como se muestra en la Figura 21.

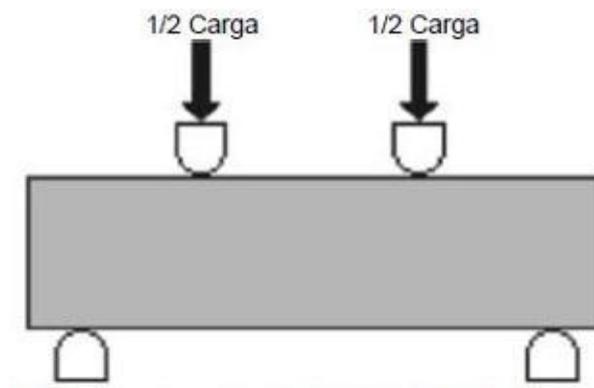


Figura 22. *Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz.*
Fuente. *Manual de Ensayo de Materiales del MTC.*

- a. Procedimiento.** Se giró la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centró sobre los bloques de carga. Se centró el sistema de

carga con relación a la fuerza aplicada. Se pusieron los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los soportes y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada. Utilizando calibradores de la mina normalizados de 0,1 mm (0,004 pulg) y de 0,38mm (0,015 pulg), se determina si en una longitud de 25 mm (1 pulg) o más larga, se presenta un vacío entre la muestra y la superficie del bloque, mayor o menor al espesor de los calibradores. Se pulen o refrentan las superficies de contacto de la muestra, o se rellenan con láminas de cuero para eliminar cualquier vacío o separación mayor a 0,1 mm (0,004 pulg). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6,4 mm (0,25 pulg) y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2 pulg), y se deben extender al ancho total de la muestra.

Las separaciones mayores de 0,38 mm (0,015 pulg) deberán ser eliminadas sólo por refrentado o limado de la superficie. Se recomienda minimizar el pulimento de las superficies laterales de la muestra, ya que esto puede variar las características físicas de ésta y afectar los resultados del ensayo.

3.16. Resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central.

- a. Procedimiento.** Se giró la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de carga. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Se ponen los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios, entre los soportes y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada. Utilizando calibradores de lámina normalizados de 0,1 mm (0,004 pulg) y de

0,38mm (0,015 pulg), se determina si en una longitud de 25 mm (1 pulg) o más larga, se presenta un vacío entre la muestra y la superficie del bloque, mayor o menor al espesor de los calibradores. Se refrentaron las superficies de contacto de la muestra, o se rellenan con láminas de cuero para eliminar cualquier vacío o separación mayor a 0,1 mm (0,004 pulg). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6,4 mm (0,25 pulg) y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2 pulg), y se deben extender al ancho total de la muestra. Las separaciones mayores de 0,38 mm (0,015 pulg) deberán ser eliminadas solo por refrentado o limado de la superficie. Se recomienda minimizar el pulimento de las superficies laterales de la muestra, ya que esto puede variar las características físicas de ésta y afectar los resultados del ensayo. Ver Figura 22.

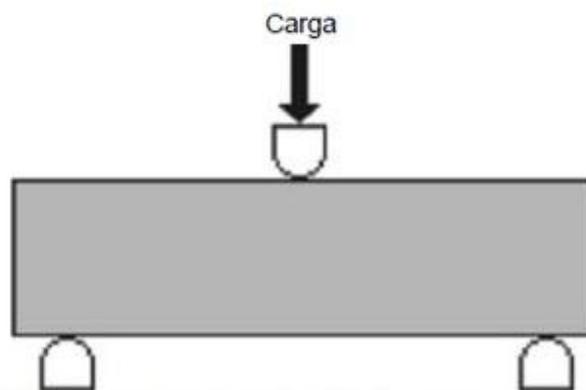


Figura 23. *Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz.*
Fuente. *Manual de Ensayo de Materiales del MTC.*

CAPÍTULO IV:

RESULTADOS Y

DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ensayos de compresión.

En el presente acápite, se muestra los cuadros representativos del análisis de los resultados de la resistencia de los concretos a compresión según su relación de agua cemento especificada con respecto a sus 3 distintas edades (7, 14 y 28). Siendo necesario mencionar que se trató de llegar a la resistencia especificada en el diseño de mezcla de concreto creada por los autores de la tesis y siempre tratando conservando un Slump constante (3” – 4”).

Se empleó para el diseño de mezclas el método del ACI. Se muestra a continuación, los cuadros que son un resumen de los resultados en f’c.

Todo detalle de las resistencias obtenidas, pesos y dimensiones de las muestras, se encuentran en la sección de Anexos.

4.1.1. Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico de la Muestra patrón (Sin viruta de acero).

Tabla 22

Resultados de la Resistencia a la compresión de la muestra patrón.

Dosificación sin viruta de acero			
	Resistencia obtenida a los 7 días $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c$ (kg/cm ²)
Ensayo 1	274	301	355
	282	303	349
Ensayo 2	270	298	369
	266	311	364
Ensayo 3	277	306	360
	271	313	354
Ensayo 1	278.0	302.0	352.0
Ensayo 2	268.0	304.5	366.5
Ensayo 3	274.0	309.5	357.0
$f'c$ (kg/cm ²)	273.33	305.33	358.50

 Fuente. *Elaboración propia.*

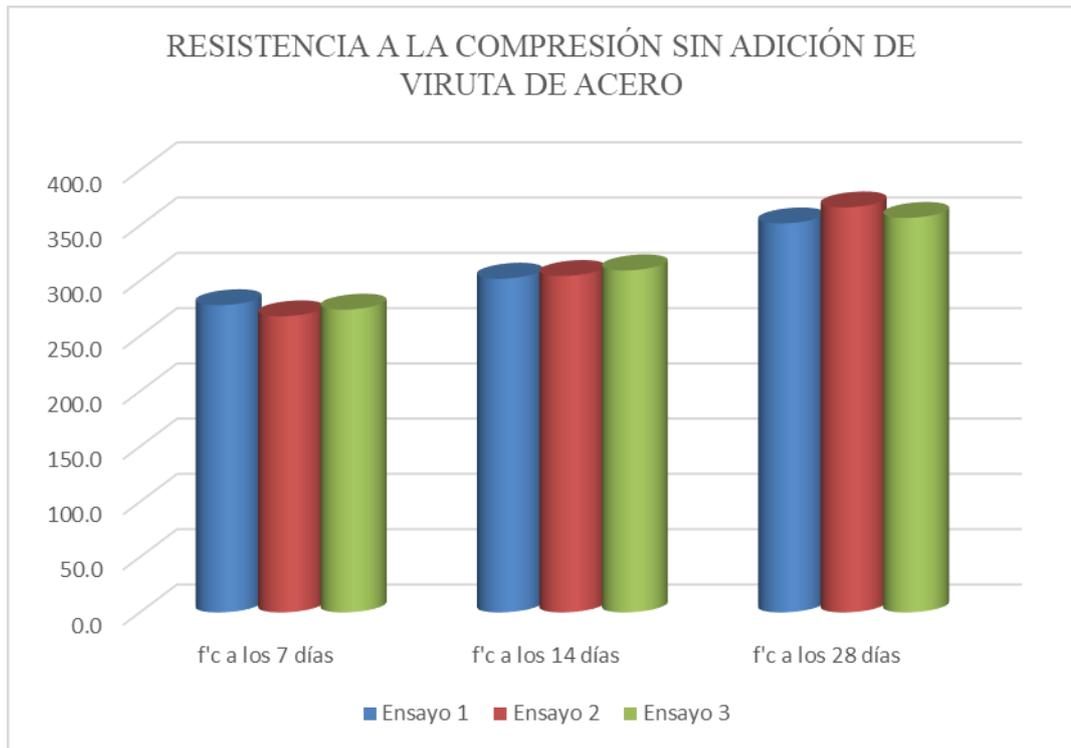


Figura 24. Gráfico de barras de especímenes de concreto de la muestra patrón.

Fuente. Elaboración propia.

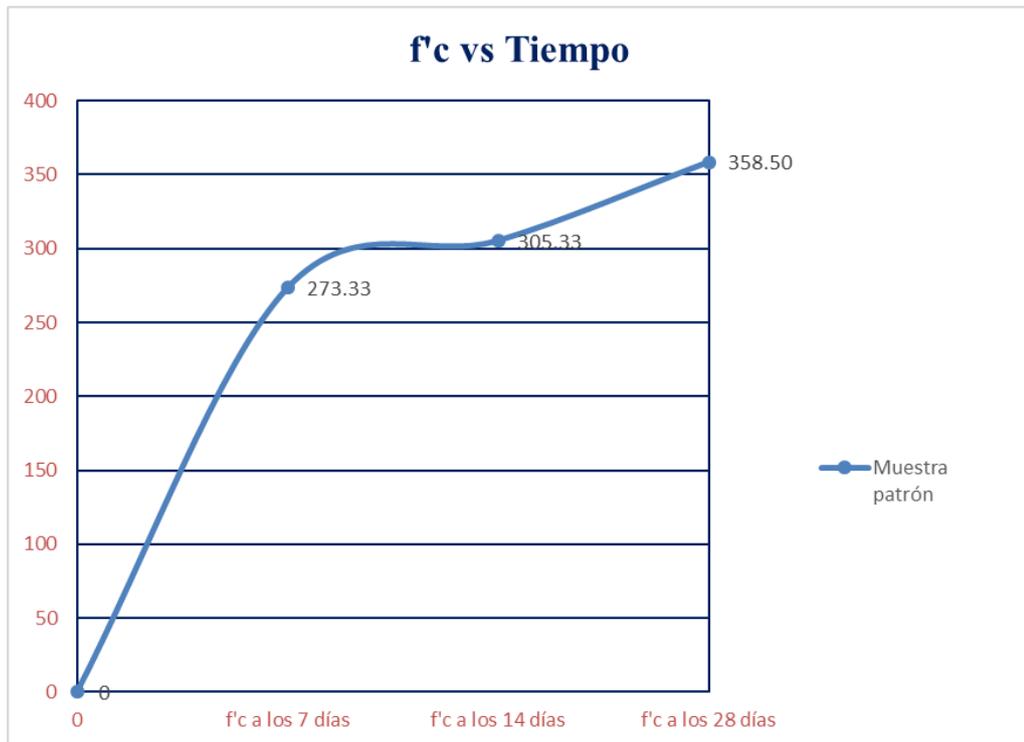


Figura 25. Curva de f'c a los 7, 14 y 28 días de la muestra patrón.

Fuente. Elaboración propia.

4.1.2. Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico con adición de viruta de acero (6%).

Tabla 23

Resultados de la Resistencia a la compresión (6% de viruta).

Dosificación con relación viruta de acero/cemento de 6%			
	Resistencia obtenida a los 7 días $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c$ (kg/cm ²)
Ensayo 1	267	304	367
	271	310	358
Ensayo 2	277	314	362
	281	303	367
Ensayo 3	277	295	364
	267	299	351
Ensayo 1	269.0	307.0	362.5
Ensayo 2	279.0	308.5	364.5
Ensayo 3	272.0	297.0	357.5
$f'c$ m (kg/cm ²)	273.3	304.17	361.50

 Fuente. *Elaboración propia.*

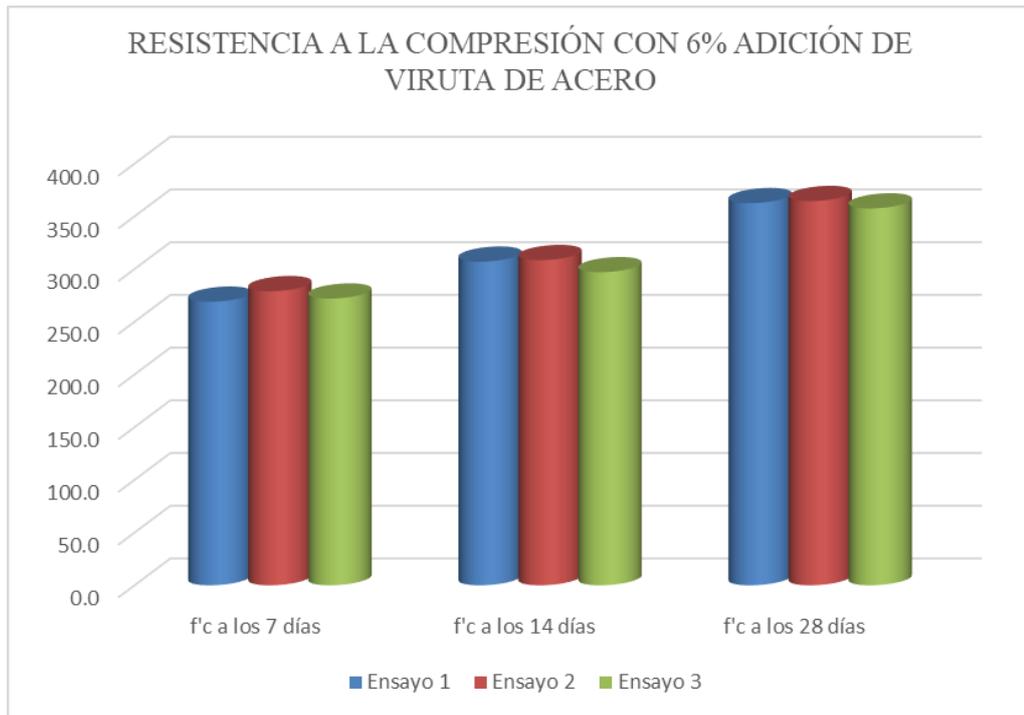


Figura 26. Gráfico de barras de especímenes de concreto con 6% de viruta.
Fuente. Elaboración propia.

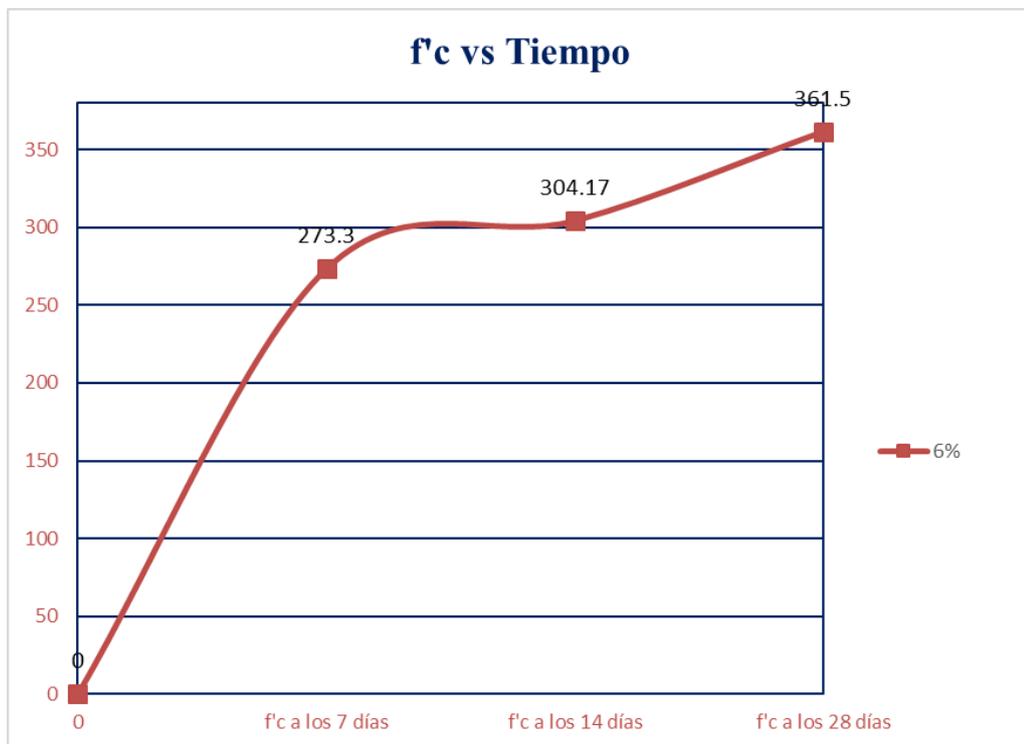


Figura 27. Curva de f'c a los 7, 14 y 28 días de la muestra con 6% de viruta.
Fuente. Elaboración propia.

4.1.3. Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico con adición de viruta de acero (8%).

Tabla 24

Resultados de la Resistencia a la compresión (8% de viruta).

Dosificación con relación viruta de acero/cemento de 8%			
	Resistencia obtenida a los 7 días $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c$ (kg/cm ²)
Ensayo 1	289	315	367
	274	315	366
Ensayo 2	286	301	360
	271	301	375
Ensayo 3	282	304	358
	277	309	355
Ensayo 1	281.5	315.0	366.5
Ensayo 2	278.5	301.0	367.5
Ensayo 3	279.5	306.5	356.5
$f'c$ m (kg/cm ²)	279.8	307.50	363.50

 Fuente. *Elaboración propia.*

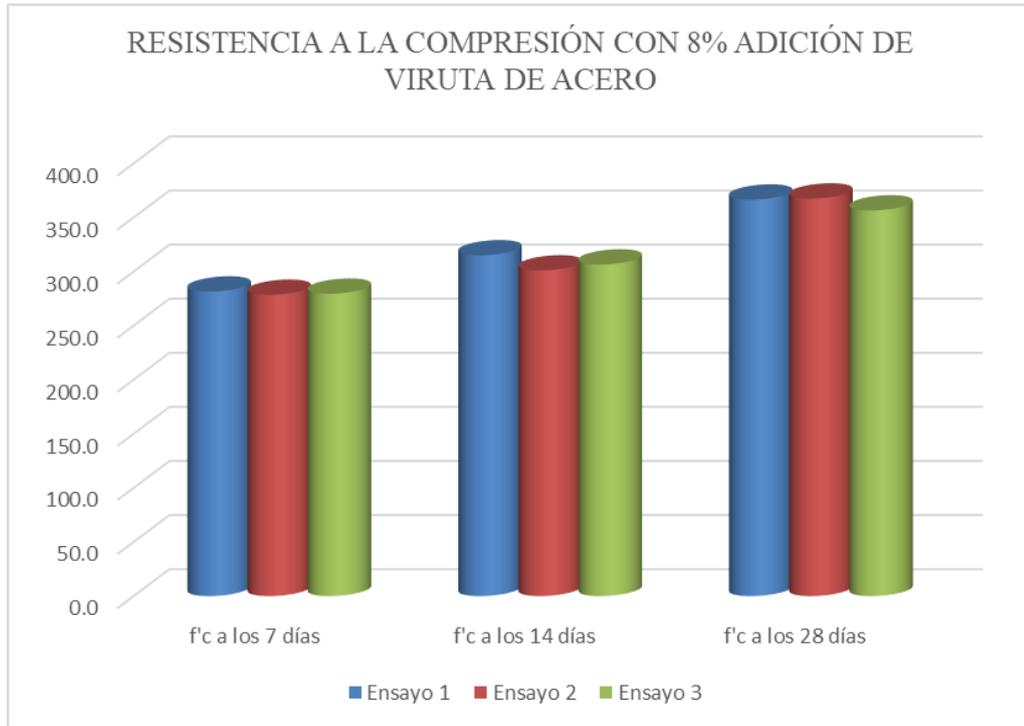


Figura 28. Gráfico de barras de especímenes de concreto con 8% de viruta.
Fuente. Elaboración propia.

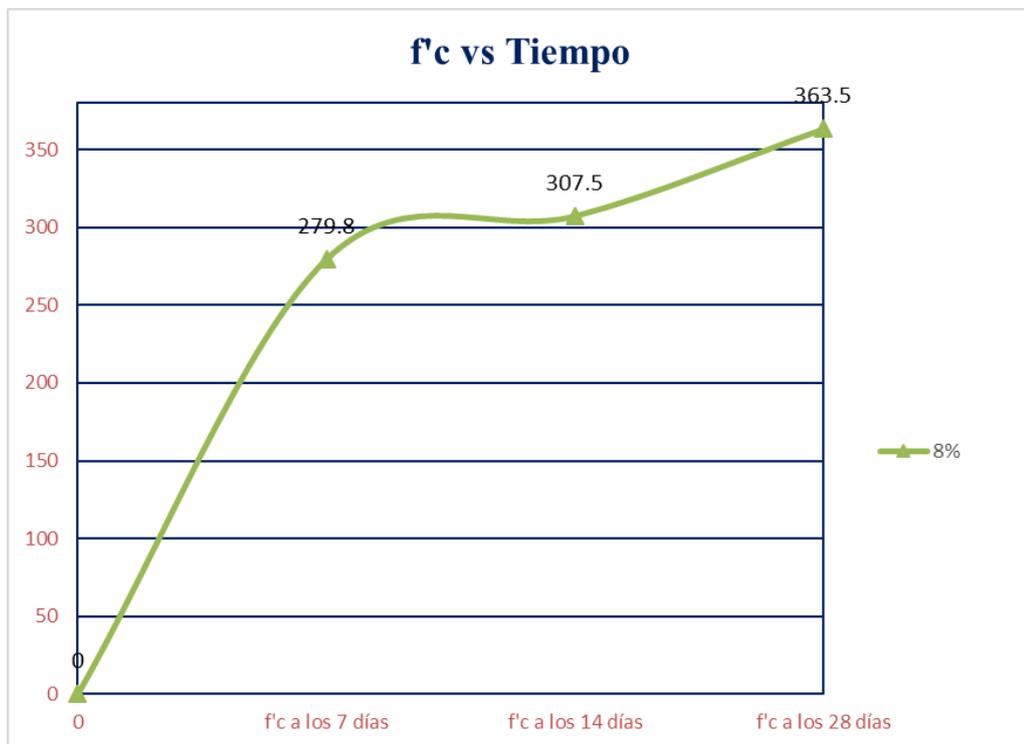


Figura 29. Curva de f'c a los 7, 14 y 28 días de la muestra con 8% de viruta.
Fuente. Elaboración propia.

4.1.4. Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico con adición de viruta de acero (10%).

Tabla 25
Resultados de la Resistencia a la compresión (10% de viruta).

Dosificación con relación viruta de acero/cemento de 10%

	Resistencia obtenida a los 7 días f'c (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 14 días f'c (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 28 días f'c (kg/cm ²)
Ensayo 1	289	307	376
	291	322	372
Ensayo 2	280	306	371
	291	324	380
Ensayo 3	290	318	365
	284	309	370
Ensayo 1	290.0	314.5	374.0
Ensayo 2	285.5	315.0	375.5
Ensayo 3	287.0	313.5	367.5
f'c m (kg/cm²)	287.5	314.33	372.33

Fuente. *Elaboración propia.*

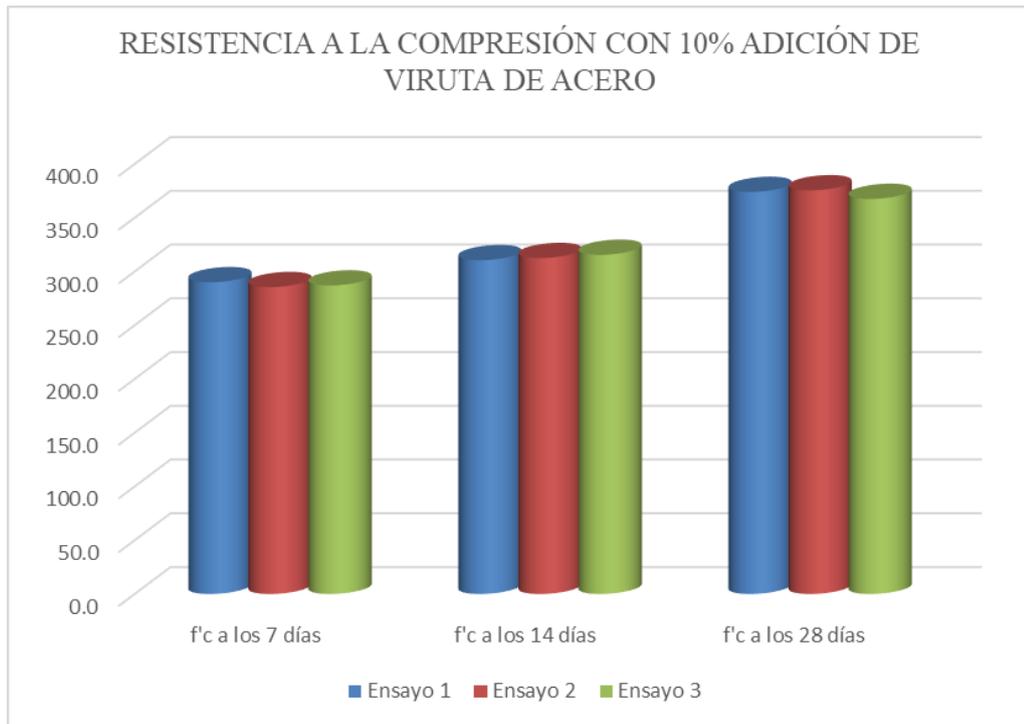


Figura 30. Gráfico de barras de especímenes de concreto con 10% de viruta.
Fuente. Elaboración propia.

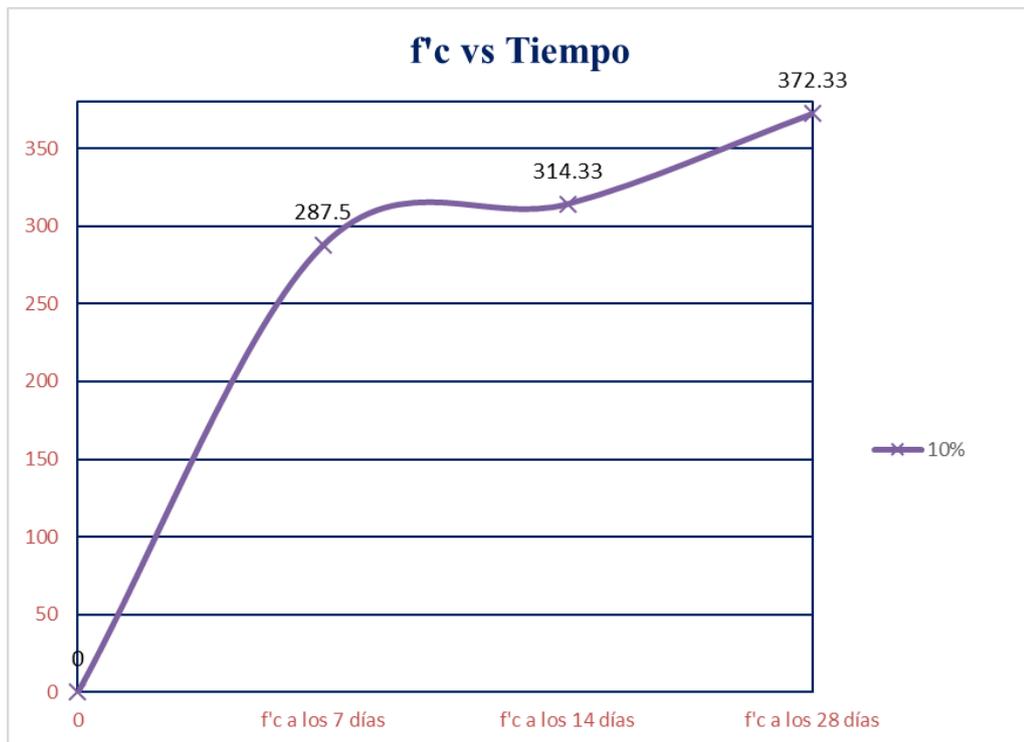


Figura 31. Curva de f'c a los 7, 14 y 28 días de la muestra con 10% de viruta.
Fuente. Elaboración propia.

4.1.5. Resistencia a la compresión de Especímenes de concreto hidráulico con adición de viruta de acero (12%).

Tabla 26

Resultados de la Resistencia a la compresión (12% de viruta).

Dosificación con relación A/C de 0.46, y con relación viruta de acero/cemento de 12%

	Resistencia obtenida a los 7 días $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 14 días $f'c$ (kg/cm ²)	Resistencia obtenida a los 28 días $f'c$ (kg/cm ²)
Ensayo 1	285	309	373
	277	302	375
Ensayo 2	272	305	370
	272	318	368
Ensayo 3	270	303	362
	277	312	357
Ensayo 1	281.0	305.5	374.0
Ensayo 2	272.0	311.5	369.0
Ensayo 3	273.5	307.5	359.5
$f'c$ m (kg/cm ²)	275.5	308.17	367.50

 Fuente. *Elaboración propia.*

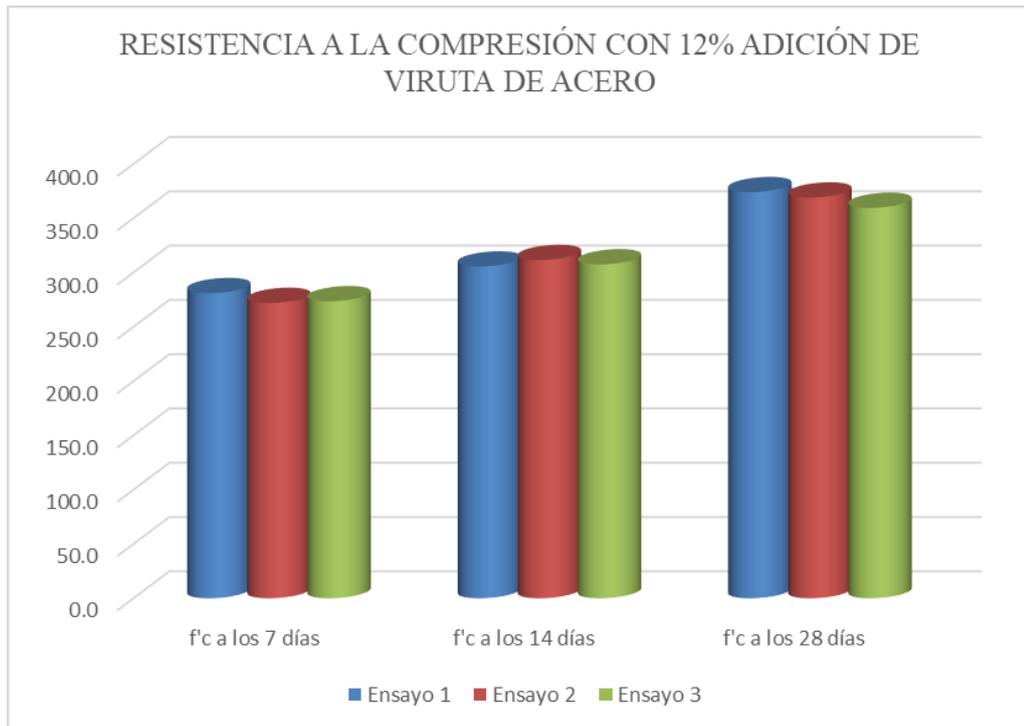


Figura 32. Gráfico de barras de especímenes de concreto con 12% de viruta.
Fuente. Elaboración propia.

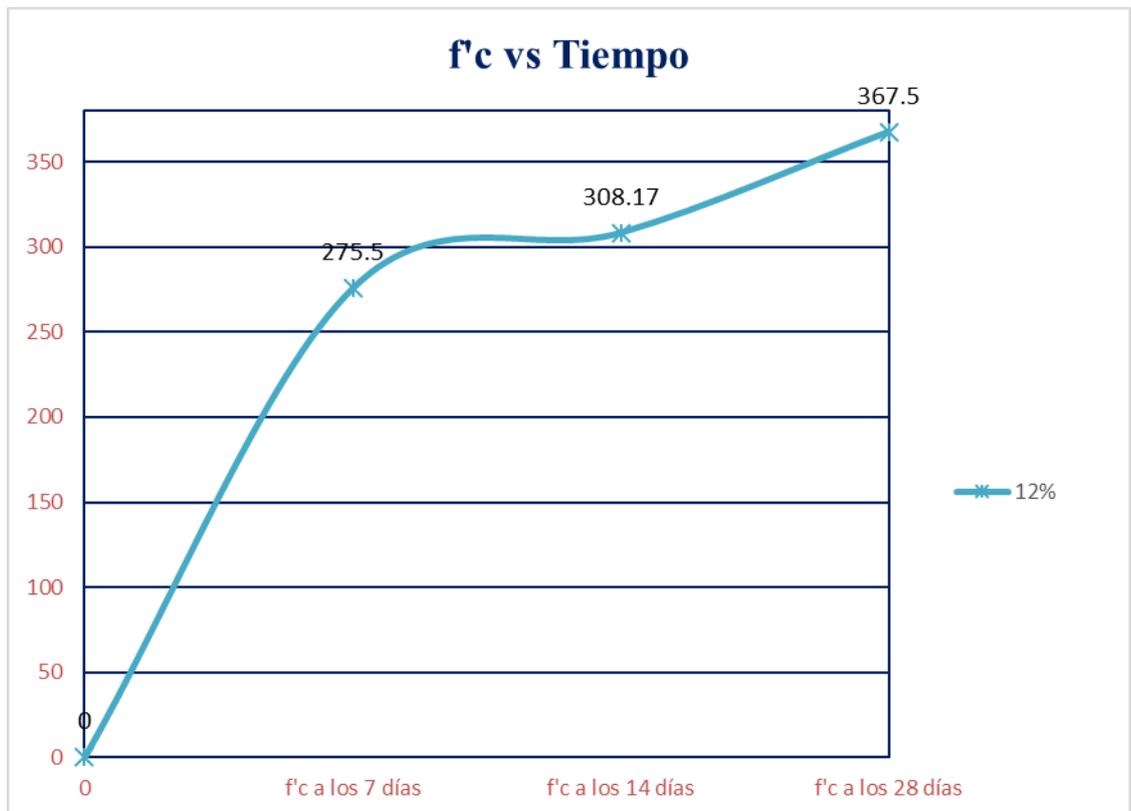


Figura 33. Curva de f'c a los 7, 14 y 28 días de la muestra con 12% de viruta.
Fuente. Elaboración propia.

4.1.6. Comparación entre la muestra patrón y las muestras con adición de viruta de acero.

Figura 34.

Resultados de Resistencia a la compresión por edades comparados con la muestra patrón.

Proporción Viruta de Acero - Cemento	Resistencia obtenida a los 7 días f'c (Kg/cm ²)		Resistencia obtenida a los 14 días f'c (Kg/cm ²)		Resistencia obtenida a los 28 días f'c (Kg/cm ²)	
	Muestra Patrón	Adición de Viruta	Muestra Patrón	Adición de Viruta	Muestra Patrón	Adición de Viruta
6% de Adición		273.33 100.00%		304.17 99.62%		361.50 100.84%
8% de Adición	273.33	279.83 102.38%	305.33	307.50 100.71%	358.50	363.50 101.39%
10% de Adición		287.50 105.18%		314.33 102.95%		372.33 103.86%
12% de Adición		275.50 100.79%		308.17 100.93%		367.50 102.51%

Fuente. *Elaboración propia.*

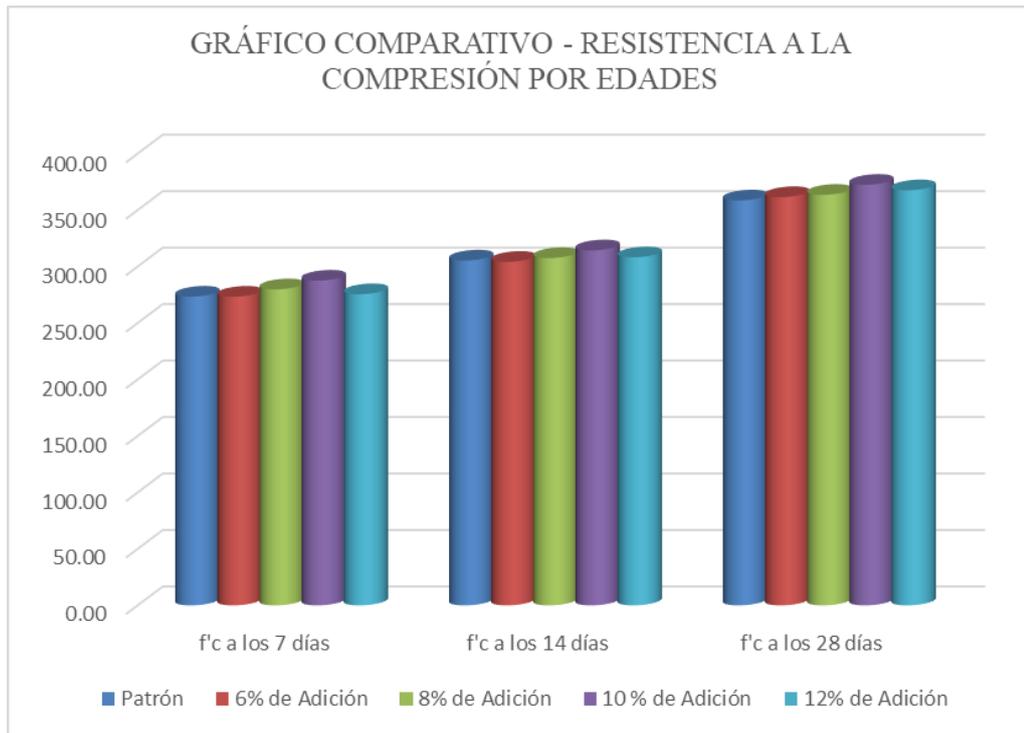


Figura 35. Gráfico comparativo de las resistencias a la compresión por edades comparados con la muestra patrón.

Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a este grafico se puede apreciar que a los 7, 14 y 28 días hubo un aumento máximo de 5.18%, 2.95% y 3.86% respectivamente con respecto a la muestra patrón de concreto obtenido en laboratorio.

- Entonces concluyendo con respecto a todos los porcentajes, la dosificación óptima es cuando añadimos un 10% de viruta de acero respecto a la proporción del cemento.

- La variación del $f'c$ es muy pequeña, por lo que se deduce que la viruta de acero adicionada afecta a las propiedades del concreto en mínimas proporciones.

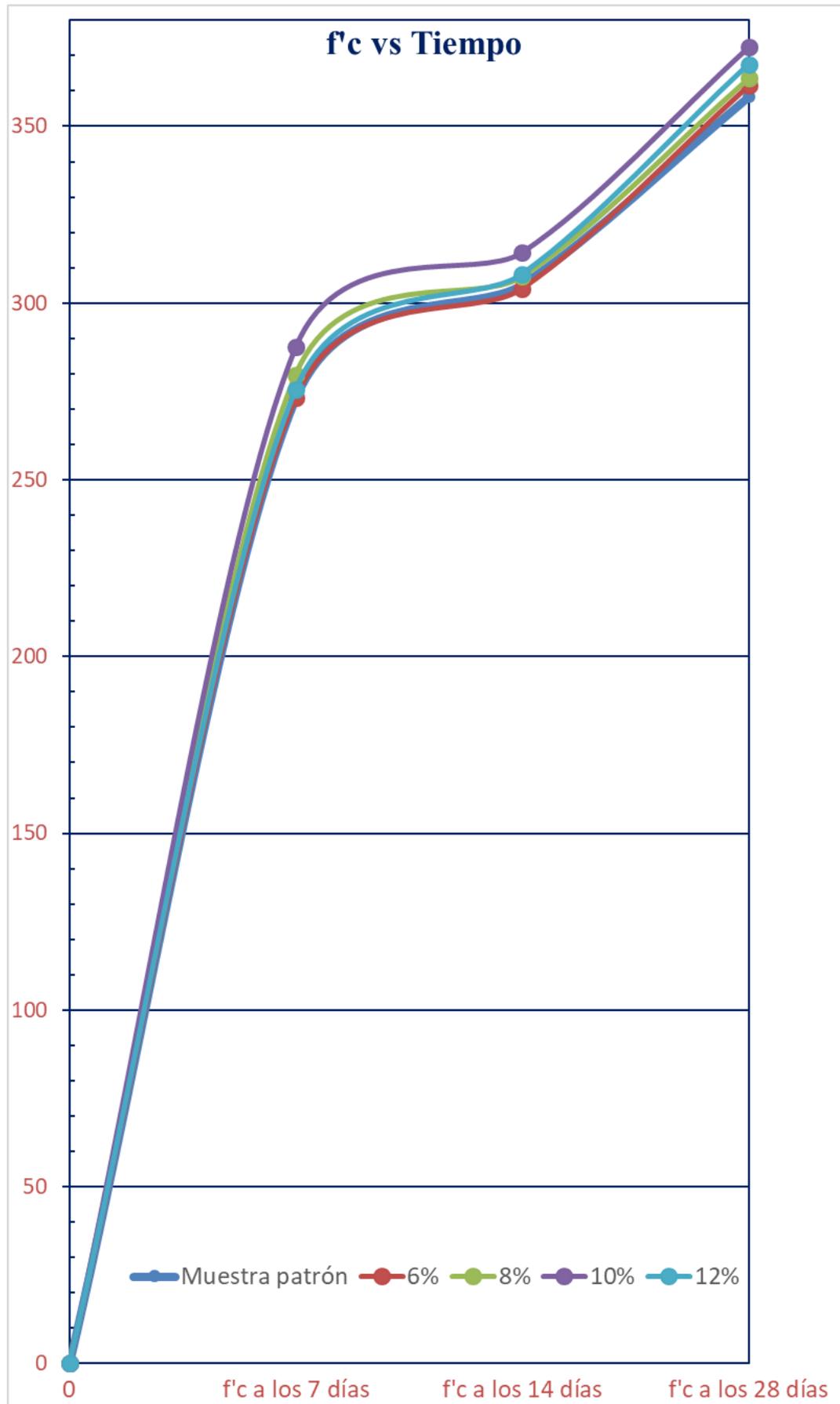


Figura 36. Curvas comparativas entre los especímenes de concreto.
Fuente. Elaboración propia.

4.2. Ensayos de Flexión

Se presentarán a continuación los cuadros de los resultados, que son un resumen de todos los cálculos realizados, los cual nos brindaran tanto el módulo de rotura, como el módulo de rotura promedio, mencionando en ellas, las características físicas de las muestras, como peso, denominación por orden, dimensión, presentándose estos resultados en la sección Anexos.

4.2.1. Resistencia a la flexión de vigas de los especímenes de la muestra

patrón a los 28 días.

Tabla 27

Resultados a la flexión (muestra patrón).

Resistencia a la flexión de Vigas de la muestra patrón			
(sin viruta de acero)			
	VIGA		
	1	2	3
Módulo de rotura (kg/cm ²)	45.19	44.59	44.99
Módulo Promedio (kg/cm²)	44.92		

Fuente. *Elaboración propia.*

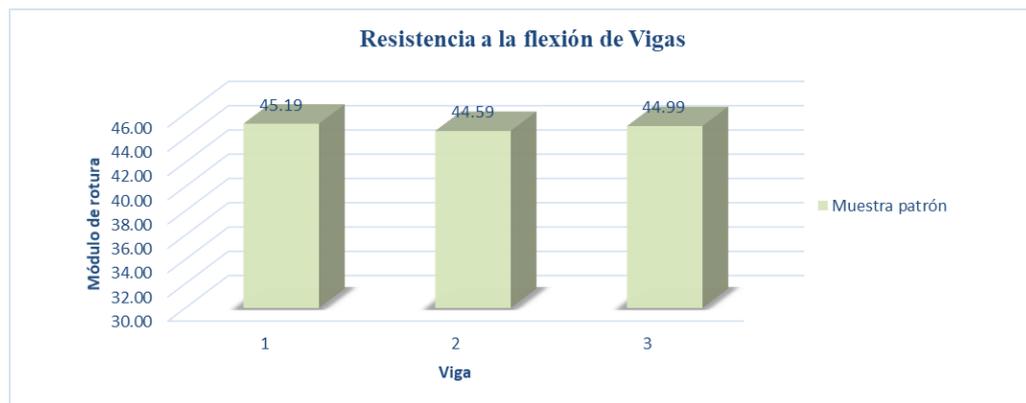


Figura 37. *Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra patrón.*

Fuente. *Elaboración propia.*

4.2.2. Resistencia a la flexión de vigas de la muestra con 6% de adición de viruta de acero respecto al cemento a una edad de 28 días.

Tabla 28

Resultados a la flexión (6% de adición).

Resistencia a la flexión de Vigas de la muestra con 6% de viruta de acero respecto al cemento

	VIGA		
	1	2	3
Módulo de rotura (kg/cm^2)	45.10	45.85	44.37
Módulo Promedio (kg/cm^2)	45.11		

Fuente. *Elaboración propia.*

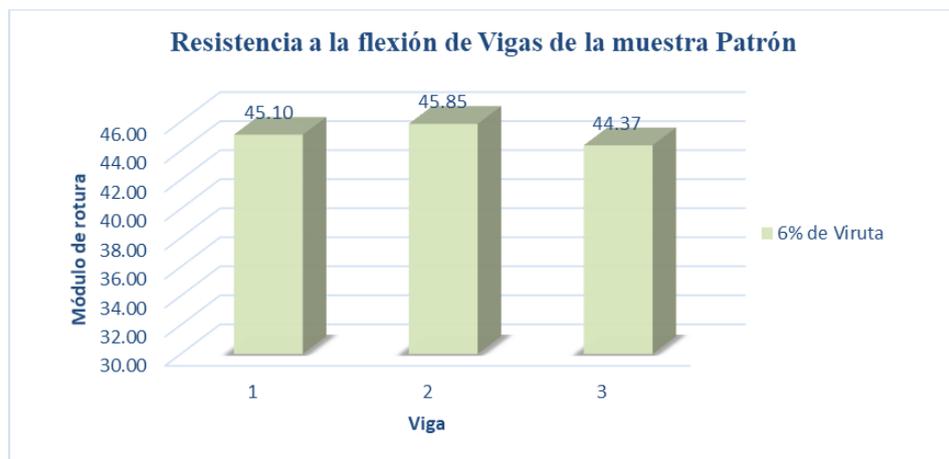


Figura 38. Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra con 6%.

Fuente. *Elaboración propia.*

4.2.3. Resistencia a la flexión de vigas de la muestra con 8% de adición de viruta de acero respecto al cemento a una edad de 28 días.

Tabla 29

Resultados a la flexión (8% de adición).

	VIGA		
	1	2	3
Módulo de rotura (kg/cm ²)	45.11	45.56	46.36
Módulo Promedio (kg/cm²)	45.68		

Fuente. *Elaboración propia.*



Figura 39. Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra con 8%.
Fuente. *Elaboración propia.*

4.2.4. Resistencia a la flexión de vigas de la muestra con 10% de adición de viruta de acero respecto al cemento a una edad de 28 días.

Tabla 30

Resultados a la flexión de los tercios del tramo (10% de adición).

Resistencia a la flexión de Vigas de la muestra con 10% de viruta de acero respecto al cemento

	VIGA		
	1	2	3
Módulo de rotura (kg/cm ²)	46.43	46.70	45.91
Módulo Promedio (kg/cm²)	46.35		

Fuente. *Elaboración propia.*

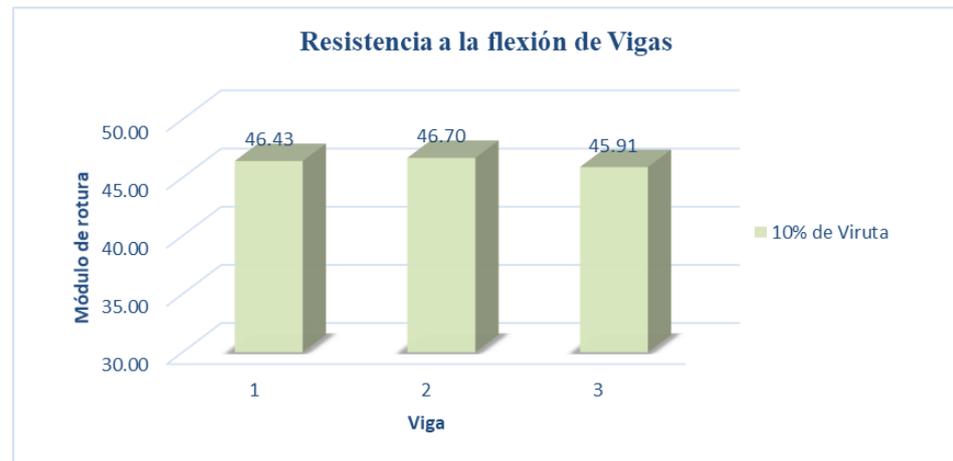


Figura 40. *Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra con 10%.*
Fuente. *Elaboración propia.*

4.2.5. Resistencia a la flexión de vigas de la muestra con 12% de adición de viruta de acero respecto al cemento a una edad de 28 días.

Tabla 31 Resultados a la flexión (12% de adición).

Resistencia a la flexión de Vigas de la muestra con 12% de viruta de acero respecto al cemento

	VIGA		
	1	2	3
Módulo de rotura (kg/cm ²)	46.16	46.35	47.07
Módulo Promedio (kg/cm²)	46.52		

Elaboración propia.



Figura 41. Gráfico de barras del ensayo a la flexión de la muestra con 12%.
Fuente. Elaboración propia.

4.2.6. Comparación del ensayo a la flexión de vigas.

Tabla 32

Resultados a la flexión (comparación de resultados).

Proporción Viruta de Acero - Cemento	Módulo de Rotura	
	Muestra Patrón	Adición de Viruta
6% de Adición	44.92	45.11 100.42%
8% de Adición		45.68 101.69%
10% de Adición		46.35 103.18%
12% de Adición		46.52 103.57%

Fuente. *Elaboración propia.*

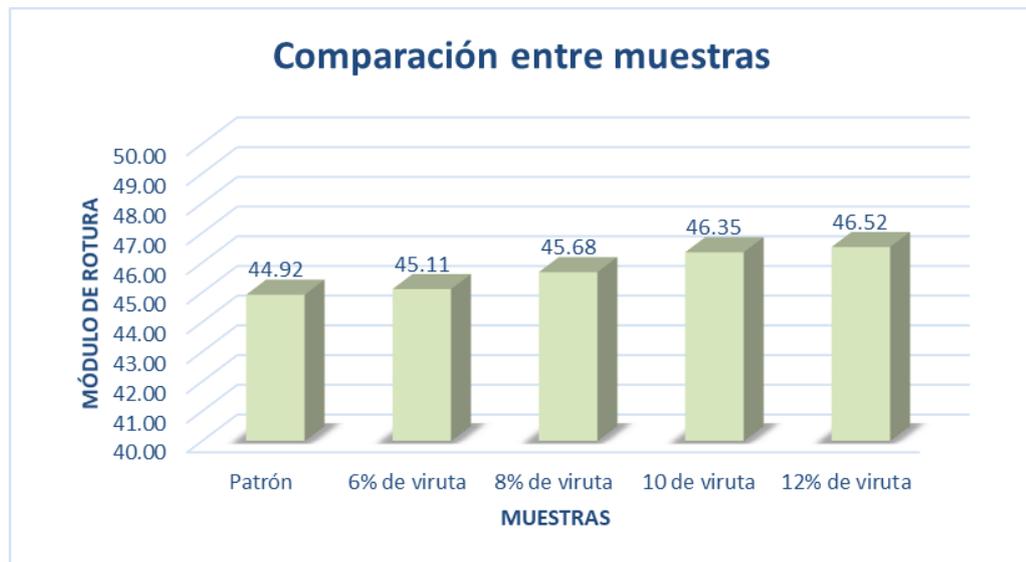


Figura 42. Gráfico de barras comparación del ensayo a la flexión entre las distintas muestras.

Fuente. *Elaboración propia.*

En la figura 41 se puede apreciar un comportamiento relativamente similar al de la resistencia a la compresión siendo la dosificación óptima la incorporación del

12% de viruta de acero, alcanzando un módulo de rotura de 46.52, siendo el 102.86% respecto al módulo de rotura de la muestra patrón.

Sin embargo, al tomar en cuenta el ensayo de resistencia a la compresión podemos seleccionar utilizar el 10% de adición de viruta de acero, ya que en este caso no presenta mucha variación para el ensayo a la flexión.

4.3. Análisis de Resultados

A continuación, se analizará y discutirá, los resultados que se obtuvieron en el presente CAPÍTULO, y la comparación que se realizó, con la finalidad de contrastar la Hipótesis.

Sobre la Hipótesis.

Si incorporamos virutas de acero con una adecuada dosificación, en la elaboración de concreto hidráulico para pavimentos, este concreto mejora sus propiedades mecánicas y de durabilidad, logrando alcanzar solo un 2.20% de mejora en resistencia a la compresión y un 0.64% de aumento en el ensayo de flexión, para una dosificación con adición de 10% de viruta de acero con respecto al cemento, por tanto, la Hipótesis planteada es aceptada.

Para evaluar la presente Hipótesis se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a testigos de concreto Patrón (0 % de adición) y los con adición de virutas de acero (6%, 8%, 9 % y 10%) elaborados en el laboratorio de Mecánica de suelos y de concreto de la Universidad Nacional del Santa, la viruta de acero fue reciclada de un taller de estructuras metálicas, eligiendo las más pequeñas encontradas.

Luego se procedió a colocar los testigos de concreto en agua para continuar el proceso de curado. La rotura de probetas se realizó a los 7, 14 y 28 días respectivamente dando resultados positivos respecto a la Hipótesis planteada, ello lo podemos visualizar en la figura 35.

A continuación, se realiza un comentario de todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de la tesis.

Características del concreto durante su elaboración

Testigos de Concreto Patrón Elaborados con 0% de residuos de virutas de acero recicladas: Se elaboraron los testigos de concreto 210 kg/cm^2 en Laboratorio de concreto y de Suelos de la Universidad Nacional del Santa cumpliendo el diseño de mezcla establecido al inicio, la mezcla era trabajable presentando un slump promedio de 4”.

Testigos de concreto elaborados con adición de virutas de acero recicladas en diferentes porcentajes: Se elaboraron los testigos de concreto cumpliendo el diseño de mezcla establecido y adicionando virutas de acero en porcentajes 6%, 8%, 10 % y 12%, el slump para el diseño de 210 kg/cm^2 en la mayoría de dosificaciones no presentaba grandes variaciones, debido a la que la viruta reciclada era de pequeñas dimensiones, siempre se mantuvo la trabajabilidad.

4.4. Análisis Estadístico

La elaboración y posterior ensayo de las muestras de concreto planteadas en la investigación, nos proporcionó un resultado favorable en la dosificación con adición de 10% de viruta de acero respecto al cemento. Por ello se planteó la

elaboración de 30 probetas adicionales con la dosificación indicada, para el cálculo estadístico siguiente.

Tabla 33

Resultados de resistencia a la compresión de muestras con 10% de adición.

Testigo de concreto	Días de curado	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (cm ²)	Fuerza (kN)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
1	28	151	303	179.08	623.7	63573.1	373
2	28	150	303	176.72	622.4	63440.7	357
3	28	150	301	176.72	620.6	63264.0	362
4	28	152	303	181.46	637.3	64962.3	356
5	28	151	302	179.08	637.7	65005.7	362
6	28	150	301	176.72	643.2	65561.3	364
7	28	152	303	181.46	631.9	64417.9	352
8	28	151	303	179.08	644.7	65722.0	365
9	28	150	303	176.72	643.2	65561.3	357
10	28	151	301	179.08	664.1	67691.9	384
11	28	151	303	179.08	660.5	67333.7	375
12	28	152	301	181.46	653.3	66595.4	379
13	28	152	301	181.46	642.6	65506.6	375
14	28	150	303	176.72	644.9	65738.0	365
15	28	151	301	179.08	625.4	63752.1	374
16	28	151	301	179.08	623.7	63573.1	380
17	28	150	302	176.72	629.3	64147.5	384
18	28	150	301	176.72	648.4	66091.4	368
19	28	152	301	181.46	648.0	66051.0	374
20	28	150	303	176.72	639.7	65207.8	359
21	28	151	303	179.08	658.8	67154.6	374
22	28	151	303	179.08	628.9	64110.3	384
23	28	152	302	181.46	672.9	68591.4	358
24	28	152	303	181.46	653.3	66595.4	365
25	28	150	303	176.72	648.4	66091.4	378
26	28	150	302	176.72	648.4	66091.4	352
27	28	151	303	179.08	637.7	65005.7	380
28	28	152	301	181.46	665.8	67865.6	364
29	28	150	302	176.72	653.6	66621.6	371
30	28	150	301	176.72	648.4	66091.4	355

Fuente. *Elaboración propia.*

Cálculo de la Media (\bar{X}): Valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

Ecuación 9. Media estadística

$$\bar{X} = \frac{\sum_n^i X_i}{n} \dots\dots\dots(9)$$

Cálculo de la Mediana (Me): Es el valor que ocupa el lugar central de todos los datos cuando están ordenados.

- Cuando el número de datos es impar: Entonces la mediana es el valor del dato central.
- Cuando el número de datos es par: Entonces la mediana es el valor promedio de los dos datos centrales.

Cálculo de la Desviación Estándar (Ds): Como se indicó en el numeral 3.10.2., el cálculo de la desviación estándar se realiza con la siguiente fórmula.

$$Ds = \sqrt{\frac{(X_1 - X)^2 + (X_2 - X)^2 + \dots + (X_n - X)^2}{n - 1}}$$

Cálculo de la Variación (V): Esta se calcula con la siguiente fórmula.

Ecuación 10. Varianza

$$V = \frac{Ds}{\bar{X}} * 100 \dots\dots\dots (10)$$

Resultados del análisis estadístico:

Media	368.20
Mediana	366.50
Desviación Estándar	9.99
Mínimo	352
Máximo	384

Muestra	30
Variación	2.71

Con el resultado de la desviación estándar y variación, podemos verificar si este cumple con los límites máximos establecidos.

Tabla 34
Dispersión total.

DISPERSIÓN TOTAL					
Clase de Operación	Desviación Estándar para diferentes Grados de Control (Kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	>24.6

Fuente. *Tópicos de tecnología de concreto, Pasquel Carbajal, 1998.*

Tabla 35
Dispersión entre testigos.

DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
Clase de Operación	Coeficiente de Variación para diferentes Grados de Control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	>5.0

Fuente. *Tópicos de tecnología de concreto, Pasquel Carbajal, 1998.*

De estos límites de aceptación podemos concluir que tenemos una desviación excelente, obteniendo $9.99 < 14.1$; y una Variación muy buena $2.0 < 2.71 < 3.0$, cumpliendo de esta manera lo establecido en las normas.

Cálculo del Rango (R): El Rango es el intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo; por ello, comparte unidades con los datos. Permite obtener una idea de la dispersión de los datos, cuanto mayor es el rango, más dispersos están los datos. El rango, también es llamado amplitud o recorrido.

$$R = X_{m\acute{a}x} - X_{m\acute{i}n} \dots \dots \dots (11)$$

Dónde: R : Rango
 $X_{m\acute{a}x}$: Valor máximo
 $X_{m\acute{i}n}$: Valor mínimo

Clases o intervalos (k), método de Sturges: La regla de Sturges es un criterio utilizado para determinar el número de clases o intervalos que son necesarios para representar gráficamente un conjunto de datos estadísticos, basado en el número de muestras que permiten encontrar el número de clases y su amplitud de rango.

$$k = 1 + 3.322 * \log N \dots \dots \dots (12)$$

Dónde: k : Número de intervalos
 N : Número de datos

Amplitud (A): La amplitud de clase es el rango de valores que son posibles encontrar en la clase. La amplitud o longitud de una clase es el número de valores o variables que concurren a una clase determinada.

$$A = \frac{R}{k} \dots \dots \dots (13)$$

Tabla 36
 Tabla de frecuencias

Clase f'c	Frecuencia
352 – 358.4	7
358.4 – 364.8	5
364.8 – 371.2	5
371.2 – 377.6	6
377.6 – 384.0	7

Fuente. *Elaboración propia.*

DISTRIBUCIÓN NORMAL

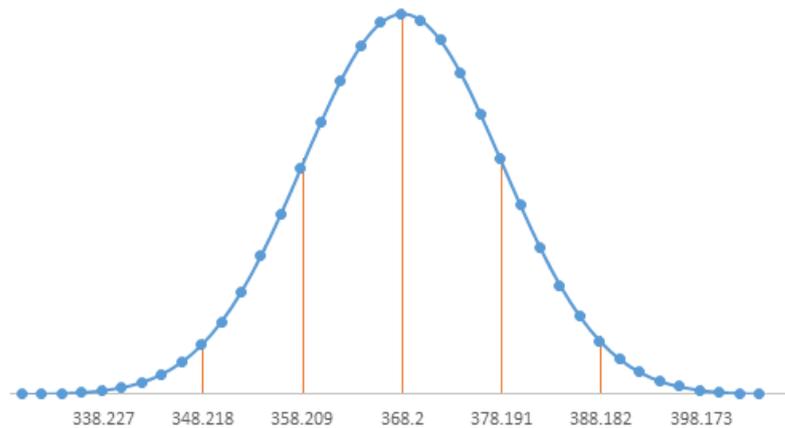


Figura 43. *Distribución normal.*
 Fuente. *Elaboración propia.*

4.5. Discusión

El presente trabajo de investigación realizado, “Elaboración de concreto hidráulico para pavimentos adicionando virutas de acero recicladas para la mejora de sus propiedades mecánicas”, buscaba encontrar la dosificación óptima para la mejora de las propiedades del concreto hidráulico utilizado en pavimentos, como ya se ha realizado anteriormente por algunos autores que incorporaban en más cantidades este residuo industrial. Esta problemática de los residuos de acero, ha sido planteada en varios países del mundo, logrando poder reutilizarla, asumiendo mejores resultados.

Uno de los autores que definen el concepto de reutilización de microfibras en la elaboración de concreto, es el manual técnico de Maccaferri, quien afirma que el uso de un material con propiedades a la tracción, genera una micro-armadura de refuerzo al ser añadida en el concreto. Lo cual se reafirma en esta tesis, puesto que las pequeñas virutas de acero, confieren al concreto una ductilidad que pueden llegar a ser consideradas en su dosificación óptima, ya que las propiedades mecánicas aumentan hasta un determinado porcentaje de adición de viruta, este punto es de discrepancia con Maccaferri, pues el atribuye que las propiedades aumenten en medida en que sea elevada la resistencia misma de las fibras y su cantidad.

La tesis de Garcia Córdova, H. y Sarmiento Gutierrez, J., realizada en Colombia en el 2008 en donde se reemplaza el agregado fino por fibras de acero en proporciones de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino; los resultados obtenidos fueron favorables, ya que se apreciaba un incremento de 62% respecto

a su muestra patrón. La investigación presentada aquí no reemplazó ninguno de los agregados del concreto, tomando a la viruta de acero como un agregado parcial de toda la mezcla. Funcionando como un elemento añadido, no presentó grandes variaciones con respecto a las características de resistencia, solo llegando a incrementar el 3.86% respecto a la muestra patrón. Por ello se confirma las teorías planteadas anteriormente por los demás autores.

Así mismo, la tesis de Lao Odicio, J. realizada en Lima en el 2007, en donde evalúa el uso de fibras metálicas en pavimentos de concreto en la ciudad de Pucallpa, la autora adiciona en su diseño de mezcla el uso de fibras de acero en una proporción del 20% del agregado global, y concluye que el concreto para pavimentos con fibra con respecto a lo normal, son mayores, notándose que para los 7 días aumenta en un 15%, para los 14 se incrementa en un 17%, y para los 28 días su resistencia es mayor en un 17%. Comparado con nuestros resultados, se tiene que, a los 7 días aumenta un 5.18%, a los 14 días incrementa un 2.95%, y a los 28 varía en 3.86% más que la muestra patrón. Así como también se logra coincidir con sus resultados de trabajabilidad, obteniendo un resultado de 3.5” en su asentamiento, mientras que el slump obtenido en esta investigación fue de 3.8”, respecto al valor de 4” de las muestras de referencia.

Lao Odicio, J. también evaluó el comportamiento del concreto mediante ensayos a flexión, logrando alcanzar una resistencia de 38.24 kg/cm² que representa el 30% respecto a su muestra patrón, siendo nuestra variación de un 3.18% con una resistencia de 46.35 kg/cm².

CAPÍTULO V:

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Luego de lograr incorporar viruta de acero en la elaboración y diseño del con concreto hidráulico se concluye que:

- La adición del 10% de viruta de acero respecto al cemento en la elaboración del concreto hidráulico, mejora sus características de resistencia tanto a la compresión como a la tracción, llegando a alcanzar hasta un 103.86% de resistencia a la compresión más que la muestra patrón. Respecto a los ensayos a la flexión se concluye que se obtuvo mejores resultados donde se usó el porcentaje de 12% de adición de viruta de acero, brindándonos los valores más altos en el ensayo de módulo de rotura, sin embargo, el porcentaje de 10% de fibra, también puede ser aplicada, ya que cumple con los ensayos de resistencia a la compresión.
- Por lo tanto, la Hipótesis “Si incorporamos virutas de acero con una adecuada dosificación, en la elaboración de concreto hidráulico para pavimentos, este concreto mejora sus propiedades mecánicas y de durabilidad” es aceptada, sin embargo, el incremento de la resistencia es una cantidad insignificante (3.86% de resistencia a la compresión y 3.18% del ensayo a flexión), alegando que el empleo de la viruta de acero origina gastos y tiempos innecesarios.
- El agregado fino obtenido de la cantera “Piedra Liza”, presentó un módulo de fineza de 2.56, un contenido de humedad de 0.546%, un peso específico

nominal de 2.715 gr/cm^3 , peso unitario suelto de 1580.67 kg/m^3 y un porcentaje de absorción del 1.430%.

- El agregado grueso de TMN de $\frac{3}{4}$ " obtenido de la cantera "Piedra Liza", presentó una curva granulométrica dentro de los límites recomendados, un contenido de humedad de 0.35%, un peso específico nominal de 2.68 gr/cm^3 , peso unitario suelto de 1549.85 kg/m^3 , peso unitario compactado de 1766.31 kg/m^3 y un porcentaje de absorción de 0.22%.
- Se realizó un diseño de mezcla con un factor de corrección de 84 kg/cm^2 , para una resistencia especificada de 280 kg/cm^2 . Obteniendo una relación de agua/cemento de 0.458. Se obtuvo la siguiente dosificación en peso: Cemento: 1, Arena: 1.33, Piedra: 2.51. Agua: 0.458, para un slump de 3"- 4". A esta dosificación se adicionó el 6%, 8%, 10% y 12% de viruta de acero respecto al cemento.
- La proporción óptima para la adición de viruta de acero en la elaboración de concreto hidráulico es con 10% respecto al cemento: Cemento: 1, Arena: 1.33, Piedra: 2.51. Agua: 0.458, Viruta de acero: 0.10.
- Se obtuvo un asentamiento de 4" para la muestra patrón, 3.9" para la muestra con 6% de adición, 3.9" para la muestra con 8% de adición, 3.8" para la muestra de 10% de adición y 3.8" para la muestra con 12% de adición. Por lo que se asume que en medida que aumenta la proporción de viruta, el Slump disminuye.

- Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días, para los diferentes porcentajes de adición de viruta de acero fueron: para el 6% se obtuvo 361.50 kg/cm^2 , para el 8% un 363.50 kg/cm^2 , para el 10% un 372.33 kg/cm^2 , para el 12% un 367.50 kg/cm^2 , y para la muestra patrón 358.50 kg/cm^2
- Los módulos de ruptura obtenidos de los ensayos de flexión a los 28 días, para los diferentes porcentajes de adición de viruta de acero fueron: para el 6% se obtuvo 45.11 kg/cm^2 , para el 8% un 45.68 kg/cm^2 , para el 10% un 46.35 kg/cm^2 , para el 12% un 46.52 kg/cm^2 , y para la muestra patrón 44.92 kg/cm^2

5.2. Recomendaciones

- La dosificación del diseño de mezcla de la presente investigación fue obtenida en pesos, sin embargo, para elaboración de concreto en cantidades mayores, se recomienda usar la dosificación en volumen siguiente: 1: 1.30: 2.40 / 20 lt /bolsa y 0.1 de viruta de acero.
- Realizar ensayos de resistencia a la compresión del concreto con adición de virutas de acero a edades mucho mayores a 28 días. Con el propósito de evaluar el comportamiento con del concreto con el tiempo.
- Se recomienda realizar la prueba de rotura a vigas donde se aplique cargas en los tercios de su claro de apoyo para obtener una comparación entre las pruebas (al centro de viga y a los tercios de viga) y obtener resultados mediante las 2 pruebas, lo que nos ayudaría a ampliar nuestros resultados.
- La incorporación de la viruta de acero en la preparación de la mezcla, fue inmediatamente después de colocado el agregado grueso, buscando la separación de las pequeñas virutas de acero, sin embargo, se podría variar el momento de colocación de éste, y comparar los resultados obtenidos.
- El concreto con adición de viruta de acero utilizado en pavimentos, se debe controlar y prevenir de posibles efectos a causa de utilizar este residuo, ya que con el tiempo la viruta de acero, al igual que el concreto, también estará expuesto a los agentes externos ambientales.

- A esta investigación podemos añadirle un estudio minúsculo de la impermeabilidad del concreto, con la finalidad de proteger las virutas de acero añadida, ya que los pavimentos siempre están expuestos a las precipitaciones y estos no deben deteriorarse.
- Sería interesante poder adquirir las virutas de acero que son desechadas en grandes cantidades por la industria del acero, hacer un estudio minucioso a este residuo, cuantificar y comparar el porcentaje que puede ser reutilizado en la elaboración del concreto.

CAPÍTULO VI:

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Becerra Salas, M. (2012). Tópicos de pavimentos de concreto. Lima, Perú.

Calo, D. (2012). Diseño de Pavimentos Rígidos. San Salvador de Jujuy.

Chapoñan Cueva, J. y Quispe Cirilo, J. (2017). Análisis del comportamiento en las propiedades del concreto hidráulico para el diseño de pavimentos rígidos adicionando fibras de polipropileno en el A.A.H.H Villa Maria-nuevo Chimbote (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Del Santa, Nuevo Chimbote, Perú.

Corporación Aceros Arequipa (2007). El acero, lo que hay que saber. Lima, Perú. Editor: Grupo Publicidad.

Garcia Córdova, H. y Sarmiento Gutierrez, J. (2008). Mejoramiento de un concreto de 3000 PSI con adición de viruta de acero con porcentajes de 6%, 8% y 10% respecto al agregado fino de la mezcla (Tesis de Pregrado). Universidad Pontifica Bolivariana, Colombia.

Maccaferri, (s.f.). Fibras como elemento estructural para refuerzo del Hormigón.

Minaya Gonzales, S. y Ordóñez Huamán A. (2006). Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos.

Montalvo Farfán, M. (s.f.). Diseño Estructural de pavimentos hidráulicos y asfálticos. Lima, Perú.

Montalvo Guevara, M. (2015). Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

M.T.C. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima, Perú.

Pasquel Carbajal, E. (1998). Tópicos de tecnología de concreto en el Perú. Lima, Perú.

Rivva Lopez, E. (1992). Diseño de Mezclas. Lima, Perú.

SENCICO (2014). Manual de Preparación, colocación y cuidados del concreto. Lima, Perú.

Sotil Chavez, A. (2016). Diseño inteligente de pavimentos hacia nuestra guía de diseño.

Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/323742854/1-PhD-ANDRES-SOTIL-CHAVEZ-Charla-de-Pavimentos-pdf>

Teodoro Harmsen (2002). Diseño Estructural de concreto armado. Lima, Perú.

Universidad Nacional de San Simón (2004). Texto Guía de Pavimentos. Recuperado de: https://www.slideshare.net/roy_foker01/libro-de-pavimentos-56459932.

Vizconde Poémape, H. (s.f.). Diseño de Mezclas – Método ACI. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/HebertPoemape/diseo-de-mezclas-23718139>.

CAPÍTULO VII:

ANEXOS

CAPÍTULO VII: ANEXOS

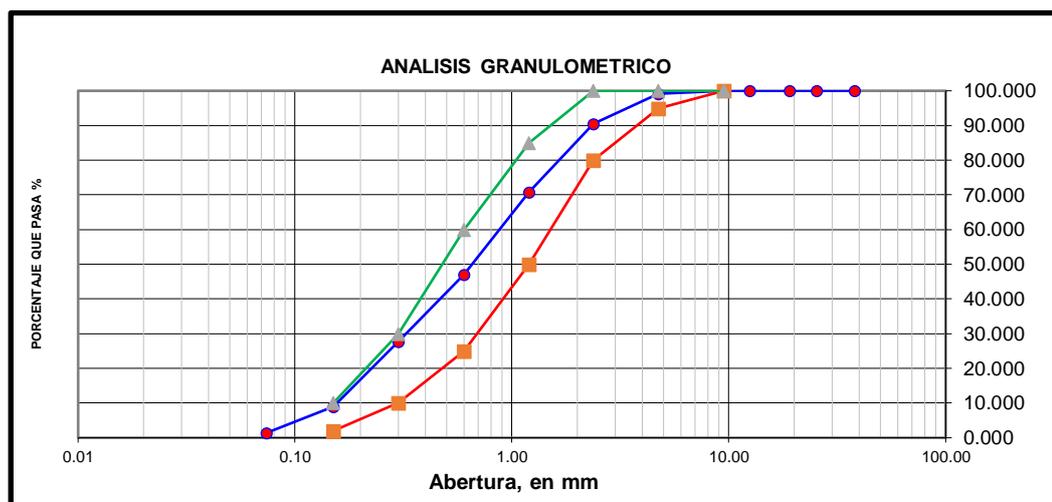
7.1. Anexo N° 01: Ensayo de los Agregados

7.1.1. Análisis granulométrico por tamizado agregado fino (norma ASTM c-136 y NTP 400.037)

Peso Inicial Seco, [gr]	1042.000
-------------------------	----------

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% pasa
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00	100.000
1"	25.400	0.000	0.000	0.00	100.000
3/4"	19.050	0.000	0.000	0.00	100.000
1/2"	12.500	0.000	0.000	0.00	100.000
3/8"	9.525	0.000	0.000	0.00	100.000
N° 4	4.750	9.000	0.864	0.86	99.136
N° 8	2.380	89.000	8.541	9.40	90.595
N° 16	1.200	207.000	19.866	29.27	70.729
N° 30	0.600	246.000	23.608	52.88	47.121
N° 50	0.300	201.000	19.290	72.17	27.831
N° 100	0.150	197.000	18.906	91.07	8.925
N° 200	0.074	78.000	7.486	98.56	1.440
Cazoleta	---	15.00	1.440	100.00	0.000
TOTAL		1042.00			

Fuente: Elaboración Propia, 2019



Fuente: Elaboración Propia, 2019

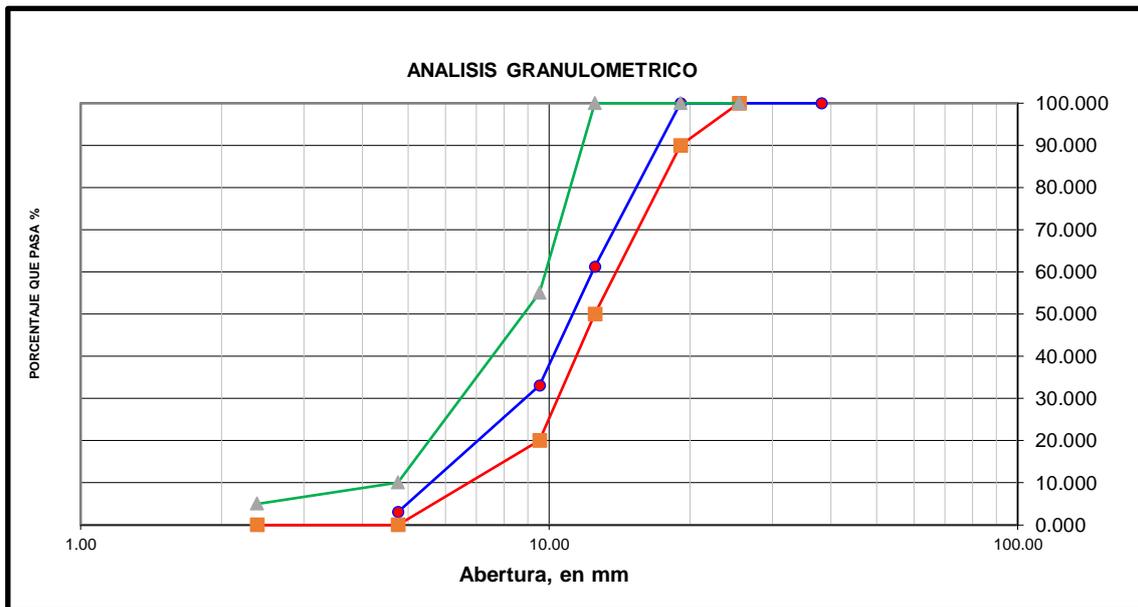
MODULO DE FINEZA	=	2.56
------------------	---	------

7.1.2. Análisis granulométrico por tamizado agregado grueso (norma ASTM C-136 Y NTP 400.037)

Peso Inicial Seco, [gr]	924.000
-------------------------	---------

Mallas	Abertura [mm]	Peso retenido [grs]	% Retenido	% Retenido Acumulado	% pasa
1 1/2"	38.100	0.000	0.000	0.00	100.000
1"	25.400	0.000	0.000	0.00	100.000
3/4"	19.050	0.000	0.000	0.00	100.000
1/2"	12.500	358.00	38.745	38.74	61.255
3/8"	9.525	261.00	28.247	66.99	33.009
Nº 4	4.750	277.00	29.978	96.97	3.030
Nº 8	2.380	28.000	3.030	100.00	0.000
Cazoleta	---	0.000	0.000	100.00	0.000
TOTAL		924.00			

Fuente: Elaboración Propia, 2019



Fuente: Elaboración Propia, 2019

7.1.3. Contenido de humedad del agregado fino y grueso (ASTM D-2216-80)

MUESTRA: AGREGADO FINO – PIEDRA LIZA

Procedimiento	M1	M2	M3
1. Peso Tara, [gr]	27.611	26.997	28.011
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	74.949	84.404	65.231
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	74.682	84.093	65.036
4. Peso Agua, [gr]	0.267	0.311	0.195
5. Peso Suelo Seco, [gr]	47.071	57.096	37.025
6. Contenido de Humedad, [%]	0.567	0.545	0.527
	0.546		

Fuente: Elaboración Propia, 2019

MUESTRA: AGREGADO GRUESO – PIEDRA LIZA

Procedimiento	M1	M2	M3
1. Peso Tara, [gr]	27.770	28.022	28.008
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	94.321	90.625	82.285
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	94.077	90.426	82.082
4. Peso Agua, [gr]	0.244	0.199	0.203
5. Peso Suelo Seco, [gr]	66.307	62.404	54.074
6. Contenido de Humedad, [%]	0.368	0.319	0.375
	0.35		

Fuente: Elaboración Propia, 2019

7.1.4. Peso específico y absorción del agregado (norma ASTM C-29 Y NTP

400.017)

MUESTRA: AGREGADO FINO – PIEDRA LIZA

Procedimiento		
1	S = Peso de la muestra saturada con superficie seca [gr]	500.000
2	C = Peso de la muestra saturada con superficie seca + Peso del frasco + peso del agua [gr]	861.400
3	B = Peso del frasco + peso del agua [gr]	550.000
4	A = Peso de la muestra secada al horno [gr]	492.950

Fuente: Elaboración Propia, 2019

RESULTADOS		
1	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	(A/B+S-C) 2.614
2	Peso Específico Aparente SSS (gr/cm ³)	(S/B+S-C) 2.651
3	Peso Específico Nominal [gr/cm ³]	(A/B+A-C) 2.715
4	Absorción [%]	((S-A/A)x100) 1.430

Fuente: Elaboración Propia, 2019

MUESTRA: AGREGADO GRUESO – PIEDRA LIZA

Procedimiento		
1	S = Peso de la muestra saturada con superficie seca [gr]	3149.000
2	C = Peso de la muestra sumergida	2020.000
3	A = Peso de la muestra secada al horno [gr]	3142.000

Fuente: Elaboración Propia, 2019

RESULTADOS		
1	Peso Específico Aparente (gr/cm ³)	(A/B+S-C) 2.783
2	Peso Específico Aparente SSS (gr/cm ³)	(S/B+S-C) 2.789
3	Peso Específico Nominal [gr/cm ³]	(A/B+A-C) 2.800
4	Absorción [%]	((S-A/A)x100) 0.223

Fuente: Elaboración Propia, 2019

7.1.5. Peso unitario suelto del agregado fino (norma ASTM C-29 Y NTP

400.017)

1.0	Peso de la Muestra + Recipiente (kg)	5.730
2.0	Peso del Recipiente (kg)	1.626
3.0	Peso de la Muestra suelta (kg)	4.104
4.0	Volumen (m ³)	0.003
5.0	Peso Aparente Suelto (kg/m³)	1580.67

Fuente: Elaboración Propia, 2019

7.1.6. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (norma ASTM

C-29 Y NTP 400.017)

PESO UNITARIO SUELTO:

1.0	Peso de la Muestra + Recipiente (kg)	5.650
2.0	Peso del Recipiente (kg)	1.626
3.0	Peso de la Muestra suelta (kg)	4.024
4.0	Volumen (m ³)	0.003
5.0	Peso Aparente Suelto (kg/m³)	1549.85

Fuente: Elaboración Propia, 2019

PESO UNITARIO COMPACTADO:

1.0	Peso de la Muestra + Recipiente (kg)	6.212
2.0	Peso del Recipiente (kg)	1.626
3.0	Peso de la Muestra suelta (kg)	4.586
4.0	Volumen (m ³)	0.003
5.0	Peso Aparente Compactado (kg/m³)	1766.31

Fuente: Elaboración Propia, 2019

7.2. Anexo N° 02: Diseño de Mezclas

DISEÑO DE MEZCLA $f'_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Método de Diseño del Comité 211 del ACI

TESIS : “ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTAS DE ACERO PARA LA MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”

UBICACIÓN : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROVINCIA DE SANTA - ANCASH
TESISTAS : **BACH ING. MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS**
 : **BACH ING. PRUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON**
FECHA : DICIEMBRE 2019

I. ESPECIFICACIONES:

1.1. La Resistencia de Diseño a los 28 días es de 280 Kg/cm^2 , se desconoce el valor de la desviación estándar.

1.2. Materiales:

1.2.1. Cemento Pacasmayo Portland Tipo I

Peso Especifico 3.11 gr/cm^3

1.2.2. Agregado Fino

Arena Gruesa -Cantera Piedra Liza

Peso Especifico 2.72 gr/cm^3

Absorción 1.43 %

Contenido de Humedad 0.55 %

Módulo de Fineza 2.56

Peso Unitario Suelto 1580.67 Kg/m^3

1.2.3. Agregado Grueso

Piedra Chancada Cantera Piedra Liza

Tamaño Máximo Nominal 3/4"

Peso Seco Varillado 1766.31 Kg/m^3

Peso Especifico 2.80 gr/cm^3

Absorción 0.22 %

Contenido de Humedad 0.35 %

Peso Unitario Suelto 1549.85 Kg/m^3

1.2.4. Agua:

Agua Potable de la zona.

II. SECUENCIA DE DISEÑO:

2.1. Selección de la Resistencia (f'_{cr}):

Dado que no se conoce el valor de la desviación estándar, entonces se tiene que:

$$f'_{cr} = f'_c + 84 \text{ Kg/cm}^2$$

Entonces: $f'_{cr} = 280 + 84 = 364 \text{ Kg/cm}^2$

2.2. Selección del Tamaño Máximo Nominal:

El tamaño máximo nominal es de $3/4"$

2.3. Selección del Asentamiento:

Por condiciones de colocación se requiere de una mezcla plástica con asentamiento de $3"$ a $4"$.

2.4. Volumen Unitario de Agua:

Para una mezcla de concreto de $3"$ a $4"$ de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de $3/4"$, el volumen unitario de agua es de **205** Lt/m³.

2.5. Contenido de Aire:

Se considera **2.00** % de aire atrapado por las características de los componentes de éste concreto.

2.6. Relación Agua - Cemento:

Para una resistencia de diseño $f'_{cr} = 364 \text{ Kg/cm}^2$ sin aire incorporado, la relación de agua - cemento es de:

0.466 por Resistencia.
0.450 por Durabilidad

2.7. Factor Cemento:

$$205.00 / 0.45 = 455.56 \text{ kg/m}^3 = 10.72 \text{ Bls/m}^3.$$

2.8. Contenido de Agregado Grueso:

Para un módulo de fineza de **2.56** y un tamaño máximo nominal de $3/4"$ le corresponde un volumen unitario de **0.644** m³ de agregado grueso varillado por unidad de volumen de concreto.

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.644 * 1766 = 1137.50 \text{ Kg/m}^3$$

2.9. Cálculo de Volúmenes Absolutos:

Cemento	455.56	/ 3.11	/ 1000	= 0.146 m ³
Agua	205.00	/ 1.00	/ 1000	= 0.205 m ³
Aire Atrapado	2.00	%		= 0.020 m ³
Agregado Grueso	1137.50	/ 2.80	/ 1000	= 0.406 m ³
			Total	= 0.778 m ³

2.10 Contenido de Agregado Fino:

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino: } 1.00 - 0.778 = 0.222 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso de agregado fino seco: } 0.222 / 2.72 / 1000 = 603.649 \text{ m}^3$$

2.11 Valores de Diseño:

Cemento:	455.56	Kg/m ³
Agua de Diseño:	205.00	Lt/m ³
Agregado Fino Seco:	603.65	Kg/m ³
Agregado Grueso Seco:	1137.50	Kg/m ³

2.12 Corrección por Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	603.65	/	1.005	=	606.946	Kg/m ³
Agregado Grueso	1137.50	/	1.004	=	1141.531	Kg/m ³

Humedad Superficial de:

Agregado Fino	0.55	-	1.43	=	-0.884	%
Agregado Grueso	0.35	-	0.22	=	0.131	%

Aporte de Humedad de los Agregados:

Agregado Fino	603.65	x	-0.0088	=	-5.336	Lt/m ³
Agregado Grueso	1137.50	x	0.0013	=	1.494	Lt/m ³
Total					-3.842	Lt/m ³

Agua Efectiva	205.00	x	-3.842	=	208.842	Lt/m ³
---------------	--------	---	--------	---	---------	-------------------

Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento	455.56	Kg/m ³
Agua Efectiva	208.84	Lt/m ³
Agregado Fino Húmedo	606.95	Kg/m ³
Agregado Grueso Húmedo	1141.53	Kg/m ³

2.13 Proporción en Peso Húmedo:

$$455.56 / 455.56 : 606.95 / 455.56 : 1141.53 / 455.56 :$$

1	1.33	2.51	0.46
---	------	------	------

2.14 Pesos por Tanda de un Saco:

Cemento	1.00	x	42.5	=	42.50	kg/saco
Agua Efectiva	0.46	x	42.5	=	19.48	Lt/saco
Agregado Fino Húmedo	1.33	x	42.5	=	56.62	kg/saco
Agregado Grueso Húmedo	2.51	x	42.5	=	106.50	kg/saco

2.15 Peso por Pie Cúbico del:

Agregado Fino Húmedo	606.95	x	35.31	/	1580.67	=	13.56	kg/pie ³
Agregado Grueso Húmedo	1141.53	x	35.31	/	1549.85	=	26.01	kg/pie ³

2.16 Dosificación en Volumen:

Cemento	10.72	/	10.72		1.00	pie ³
Agregado Fino Húmedo	13.56	/	10.72		1.26	pie ³
Agregado Grueso Húmedo	26.01	/	10.72		2.43	pie ³

Agua de Mezcla 208.84 / 10.72 19.48 Lt/bolsa

SE RECOMIENDA USAR : 1: 1.30 : 2.40 / 20.00 Lt/bls

Fuente: Elaboración Propia, 2019

7.3. Anexo N° 03: Resultados del Concreto Ensayados

7.3.1. Ensayo resistencia a la compresión

Muestra patrón: Sin adición de viruta de acero

Resultados para probetas de concreto de la muestra patrón a los 7 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	MP-01	MP-02	MP-03	MP-04	MP-05	MP-06
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019
Fecha de ensayo	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019
Altura del espécimen (mm)	302	301	301	302	303	301
Diámetro (mm)	152	151	151	152	153	150
Área (cm ²)	181.46	179.08	179.08	181.46	183.85	176.72
Volumen (cm ³)	5480.06	5390.28	5390.28	5480.06	5570.78	5319.12
Masa (gr)	13217.90	13163.06	12990.57	13163.10	13525.87	12521.21
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.412	2.442	2.410	2.402	2.428	2.354
Carga de ruptura (kN)	487.75	495.41	474.33	473.51	499.60	469.80
Carga de ruptura (kg)	49720	50500	48351	48268	50928	47890
Resistencia (kg/cm ²)	274	282	270	266	277	271
Resistencia promedio (kg/cm²)	273.33					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra patrón a los 14 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	MP-07	MP-08	MP-09	MP-10	MP-11	MP-12
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	14	14	14	14	14	14
Fecha de elaboración	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019
Fecha de ensayo	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019
Altura del espécimen (mm)	301	301	303	302	302	303
Diámetro (mm)	150	151	152	153	151	152
Área (cm ²)	176.72	179.08	181.46	183.85	179.08	181.46
Volumen (cm ³)	5319.12	5390.28	5498.20	5552.40	5408.19	5498.20
Masa (gr)	13090.36	12424.59	13558.57	13231.37	13104.04	13432.11
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.461	2.305	2.466	2.383	2.423	2.443
Carga de ruptura (kN)	521.81	532.30	530.47	560.92	537.57	557.17
Carga de ruptura (kg)	53191	54261	54075	57179	54798	56797
Resistencia (kg/cm ²)	301	303	298	311	306	313
Resistencia promedio (kg/cm²)	305.33					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra patrón a los 28 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	MP-13	MP-14	MP-15	MP-16	MP-17	MP-18
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	28	28	28	28	28	28
Fecha de elaboración	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019
Fecha de ensayo	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019
Altura del espécimen (mm)	303	301	302	302	301	302
Diámetro (mm)	152	150	150	150	151	150
Área (cm ²)	181.46	176.72	176.72	176.72	179.08	176.72
Volumen (cm ³)	5498.20	5319.12	5336.79	5336.79	5390.28	5336.79
Masa (gr)	12975.76	12797.81	12584.16	12621.52	13394.84	12552.14
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.360	2.406	2.358	2.365	2.485	2.352
Carga de ruptura (kN)	631.94	605.02	639.69	631.02	632.44	613.69
Carga de ruptura (kg)	64418	61674	65208	64324	64468	62557
Resistencia (kg/cm ²)	355	349	369	364	360	354
Resistencia promedio (kg/cm²)	358.50					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Muestras: Con 6 % de adición de viruta de acero

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 6% de viruta de acero a los 7 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M6-01	M6-02	M6-03	M6-04	M6-05	M6-06
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019	19/08/2019
Fecha de ensayo	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019
Altura del espécimen (mm)	303	303	303	303	302	303
Diámetro (mm)	150	150	151	151	151	153
Área (cm ²)	176.72	176.72	179.08	179.08	179.08	183.85
Volumen (cm ³)	5354.46	5354.46	5426.10	5426.10	5408.19	5570.78
Masa (gr)	13375.45	12427.71	13185.41	13413.31	12438.83	13169.34
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.498	2.321	2.430	2.472	2.300	2.364
Carga de ruptura (kN)	462.86	469.80	486.62	493.65	486.62	481.56
Carga de ruptura (kg)	47183	47890	49605	50321	49605	49089
Resistencia (kg/cm ²)	267	271	277	281	277	267
Resistencia promedio (kg/cm²)	273.33					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 6% de viruta de acero a los 14 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M6-07	M6-08	M6-09	M6-10	M6-11	M6-12
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	14	14	14	14	14	14
Fecha de elaboración	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019
Fecha de ensayo	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Altura del espécimen (mm)	301	301	303	301	303	303
Diámetro (mm)	153	153	153	153	151	152
Área (cm ²)	183.85	183.85	183.85	183.85	179.08	181.46
Volumen (cm ³)	5534.01	5534.01	5570.78	5534.01	5426.10	5498.20
Masa (gr)	13209.69	13065.81	13247.33	12805.71	12783.88	13091.22
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.387	2.361	2.378	2.314	2.356	2.381
Carga de ruptura (kN)	548.30	559.12	566.33	546.49	518.25	532.25
Carga de ruptura (kg)	55892	56995	57730	55708	52828	54256
Resistencia (kg/cm ²)	304	310	314	303	295	299
Resistencia promedio (kg/cm²)	304.17					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 6% de viruta de acero a los 28 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M6-13	M6-14	M6-15	M6-16	M6-17	M6-18
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	28	28	28	28	28	28
Fecha de elaboración	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019	26/08/2019
Fecha de ensayo	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019
Altura del espécimen (mm)	302	303	302	301	303	303
Diámetro (mm)	151	152	153	152	150	151
Área (cm ²)	179.08	181.46	183.85	181.46	176.72	179.08
Volumen (cm ³)	5408.19	5498.20	5552.40	5461.91	5354.46	5426.10
Masa (gr)	13001.28	12843.80	13436.81	12627.94	13113.08	12528.85
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.404	2.336	2.420	2.312	2.449	2.309
Carga de ruptura (kN)	644.73	637.28	652.91	653.30	631.02	616.62
Carga de ruptura (kg)	65722	64962	66555	66595	64324	62857
Resistencia (kg/cm ²)	367	358	362	367	364	351
Resistencia promedio (kg/cm²)	361.50					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Muestras: Con 8 % de adición de viruta de acero

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 8% de viruta de acero a los 7 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M8-01	M8-02	M8-03	M8-04	M8-05	M8-06
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	02/09/2019	02/09/2019	02/09/2019	02/09/2019	02/09/2019	02/09/2019
Fecha de ensayo	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Altura del espécimen (mm)	303	301	302	302	302	302
Diámetro (mm)	152	152	153	152	151	152
Área (cm ²)	181.46	181.46	183.85	181.46	179.08	181.46
Volumen (cm ³)	5498.20	5461.91	5552.40	5480.06	5408.19	5480.06
Masa (gr)	12882.29	13589.23	12820.49	13058.97	13477.20	12817.85
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.343	2.488	2.309	2.383	2.492	2.339
Carga de ruptura (kN)	514.45	487.75	515.83	482.41	495.41	493.09
Carga de ruptura (kg)	52442	49720	52582	49175	50500	50264
Resistencia (kg/cm ²)	289	274	286	271	282	277
Resistencia promedio (kg/cm²)	279.83					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 8% de viruta de acero a los 14 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M8-07	M8-08	M8-09	M8-10	M8-11	M8-12
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	14	14	14	14	14	14
Fecha de elaboración	02/09/2019	02/09/2019	02/09/2019	02/09/2019	02/09/2019	02/09/2019
Fecha de ensayo	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019
Altura del espécimen (mm)	301	302	301	301	303	302
Diámetro (mm)	153	153	153	153	150	150
Área (cm ²)	183.85	183.85	183.85	183.85	176.72	176.72
Volumen (cm ³)	5534.01	5552.40	5534.01	5534.01	5354.46	5336.79
Masa (gr)	13563.87	13014.82	13663.48	12833.38	12791.82	13149.86
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.451	2.344	2.469	2.319	2.389	2.464
Carga de ruptura (kN)	568.14	568.14	542.89	542.89	527.01	535.67
Carga de ruptura (kg)	57914	57914	55340	55340	53721	54605
Resistencia (kg/cm ²)	315	315	301	301	304	309
Resistencia promedio (kg/cm²)	307.50					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 8% de viruta de acero a los 28 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M8-13	M8-14	M8-15	M8-16	M8-17	M8-18
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	28	28	28	28	28	28
Fecha de elaboración	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Fecha de ensayo	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019
Altura del espécimen (mm)	302	301	302	301	301	303
Diámetro (mm)	152	153	150	151	152	151
Área (cm ²)	181.46	183.85	176.72	179.08	181.46	179.08
Volumen (cm ³)	5480.06	5534.01	5336.79	5390.28	5461.91	5426.10
Masa (gr)	13530.26	12938.52	12472.09	13103.77	13616.54	12528.85
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.469	2.338	2.337	2.431	2.493	2.309
Carga de ruptura (kN)	653.30	660.12	624.09	658.79	637.28	623.65
Carga de ruptura (kg)	66595	67291	63617	67155	64962	63573
Resistencia (kg/cm ²)	367	366	360	375	358	355
Resistencia promedio (kg/cm²)	363.50					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Muestras: Con 10 % de adición de viruta de acero

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 10% de viruta de acero a los 7 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M10-01	M10-02	M10-03	M10-04	M10-05	M10-06
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Fecha de ensayo	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019
Altura del espécimen (mm)	303	301	303	301	302	302
Diámetro (mm)	150	150	151	151	153	152
Área (cm ²)	176.72	176.72	179.08	179.08	183.85	181.46
Volumen (cm ³)	5354.46	5319.12	5426.10	5390.28	5552.40	5480.06
Masa (gr)	13118.44	12372.28	12707.92	12931.28	12881.57	12982.25
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.450	2.326	2.342	2.399	2.320	2.369
Carga de ruptura (kN)	501.00	504.47	491.89	511.22	523.05	505.55
Carga de ruptura (kg)	51071	51424	50142	52112	53318	51534
Resistencia (kg/cm ²)	289	291	280	291	290	284
Resistencia promedio (kg/cm²)	287.50					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 10% de viruta de acero a los 14 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M10-07	M10-08	M10-09	M10-10	M10-11	M10-12
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	14	14	14	14	14	14
Fecha de elaboración	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019
Fecha de ensayo	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019
Altura del espécimen (mm)	303	302	301	302	303	302
Diámetro (mm)	152	153	151	152	153	151
Área (cm ²)	181.46	183.85	179.08	181.46	183.85	179.08
Volumen (cm ³)	5498.20	5552.40	5390.28	5480.06	5570.78	5408.19
Masa (gr)	13223.18	13847.68	13411.02	13113.77	13642.85	12952.61
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.405	2.494	2.488	2.393	2.449	2.395
Carga de ruptura (kN)	546.49	580.76	537.57	576.76	573.55	542.84
Carga de ruptura (kg)	55708	59201	54798	58793	58466	55335
Resistencia (kg/cm ²)	307	322	306	324	318	309
Resistencia promedio (kg/cm²)	314.33					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 10% de viruta de acero a los 28 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M10-13	M10-14	M10-15	M10-16	M10-17	M10-18
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	28	28	28	28	28	28
Fecha de elaboración	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019	16/09/2019
Fecha de ensayo	14/10/2019	14/10/2019	14/10/2019	14/10/2019	14/10/2019	14/10/2019
Altura del espécimen (mm)	302	303	301	301	301	301
Diámetro (mm)	151	153	150	151	152	150
Área (cm ²)	179.08	183.85	176.72	179.08	181.46	176.72
Volumen (cm ³)	5408.19	5570.78	5319.12	5390.28	5461.91	5319.12
Masa (gr)	13304.14	13631.71	12866.95	13265.48	13594.69	12393.55
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.460	2.447	2.419	2.461	2.489	2.330
Carga de ruptura (kN)	660.54	670.94	643.16	667.57	649.74	641.42
Carga de ruptura (kg)	67334	68394	65561	68050	66232	65385
Resistencia (kg/cm ²)	376	372	371	380	365	370
Resistencia promedio (kg/cm²)	372.33					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Muestras: Con 12 % de adición de viruta de acero

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 12% de viruta de acero a los 7 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M12-01	M12-02	M12-03	M12-04	M12-05	M12-06
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	7	7	7	7	7	7
Fecha de elaboración	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019
Fecha de ensayo	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019	30/09/2019
Altura del espécimen (mm)	303	303	302	303	302	303
Diámetro (mm)	153	152	152	152	153	150
Área (cm ²)	183.85	181.46	181.46	181.46	183.85	176.72
Volumen (cm ³)	5570.78	5498.20	5480.06	5498.20	5552.40	5354.46
Masa (gr)	13715.27	13184.69	13223.38	13289.15	13508.99	12620.47
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.462	2.398	2.413	2.417	2.433	2.357
Carga de ruptura (kN)	514.03	493.09	484.19	484.19	486.97	480.20
Carga de ruptura (kg)	52398	50264	49357	49357	49641	48950
Resistencia (kg/cm ²)	285	277	272	272	270	277
Resistencia promedio (kg/cm²)	275.50					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 12% de viruta de acero a los 14 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M12-07	M12-08	M12-09	M12-10	M12-11	M12-12
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	14	14	14	14	14	14
Fecha de elaboración	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019	23/09/2019
Fecha de ensayo	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019	07/10/2019
Altura del espécimen (mm)	301	303	301	302	302	301
Diámetro (mm)	153	150	153	152	150	151
Área (cm ²)	183.85	176.72	183.85	181.46	176.72	179.08
Volumen (cm ³)	5534.01	5354.46	5534.01	5480.06	5336.79	5390.28
Masa (gr)	13774.16	12647.25	13325.91	13053.49	13251.26	12801.91
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.489	2.362	2.408	2.382	2.483	2.375
Carga de ruptura (kN)	557.32	523.54	550.10	566.08	525.27	548.11
Carga de ruptura (kg)	56811	53368	56076	57704	53545	55873
Resistencia (kg/cm ²)	309	302	305	318	303	312
Resistencia promedio (kg/cm²)	308.17					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

Resultados para probetas de concreto de la muestra con 12% de viruta de acero a los 28 días						
Probeta	1	2	3	4	5	6
Identificación de testigo	M12-13	M12-14	M12-15	M12-16	M12-17	M12-18
Resistencia promedio	280	280	280	280	280	280
Edad en días	28	28	28	28	28	28
Fecha de elaboración	24/09/2019	24/09/2019	24/09/2019	24/09/2019	24/09/2019	24/09/2019
Fecha de ensayo	22/10/2019	22/10/2019	22/10/2019	22/10/2019	22/10/2019	22/10/2019
Altura del espécimen (mm)	303	303	301	302	301	303
Diámetro (mm)	152	151	151	151	150	151
Área (cm ²)	181.46	179.08	179.08	179.08	176.72	179.08
Volumen (cm ³)	5498.20	5426.10	5390.28	5408.19	5319.12	5426.10
Masa (gr)	13575.06	12886.98	13195.40	13120.26	12372.28	12848.99
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.469	2.375	2.448	2.426	2.326	2.368
Carga de ruptura (kN)	663.98	658.79	650.00	646.49	627.55	627.17
Carga de ruptura (kg)	67684	67155	66259	65901	63971	63931
Resistencia (kg/cm ²)	373	375	370	368	362	357
Resistencia promedio (kg/cm²)	367.50					

Fuente: Elaboración Propia, 2019

7.3.2. Ensayo resistencia a la flexión



CORPORACION GEOTECNIA SAC.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO
 ESTUDIOS GEOTECNICOS, PROYECTOS, OBRAS CIVILES, MECANICO ELECTRICAS
 URB. Primero de Mayo M z. C Lt .09 Nuevo Chimbote – Telf. 043 – 316715
www.corporaciongeotecnia.com –EMAIL: Informes@corporaciongeotecnia.com

ENSAYO DE FLEXION DE VIGAS DE HORMIGON (NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.079, ASTM C293)

TESIS : ELABORACION DE CONCRETO HRIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTAS DE DE ACERO PARA LA MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS
UBICACIÓN : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - REGION ANCASH
TESISTAS : MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS
 PUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON
ASUNTO : ENSAYO DE FLEXION DE PRISMAS DE CONCRETO
LUGAR : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - DEP. DE ANCASH
UNIDAD : PRISMAS DE CONCRETO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
 FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: PROYECTO DE TESIS **APROBADO POR:** Ms. Julio Rivasplata Díaz
ENSAYADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio **FECHA:**
CALCULADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio **CARACTERISTICAS:** $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$,
 $A/C = 0.458$
 Muestra Patrón

Viga	1	2	3
Fecha de Fabricación	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019
Fecha de Ensayo	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Identificación de testigo	V-01	V-02	V-03
Resistencia esperada a los 28 días	280	280	280
Longitud (mm)	501	502	501
Ancho	152	151	151
Altura	151	152	152
Longitud de apoyo (mm)	450	451	450
Volumen (cm ³)	10328.40	10351.35	10328.40
Masa (gr)	25920	26640	26540
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.51	2.57	2.57
Carga de Rotura (kN)	34.14	33.84	34.22
Carga de Rotura (kg)	3480.12	3449.54	3488.28
Módulo de rotura (kg/cm ²)	45.19	44.59	44.99
Promedio (kg/cm ²)	44.92		

OBSERVACIONES:

Las muestras fueron elaboradas e identificadas por los solicitantes

CORPORACION GEOTECNIA S.A.C.
 LAB. MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

 Ing. Juan Rodriguez Piminchumo
 GERENTE GENERAL



CORPORACION GEOTECNIA SAC.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO
 ESTUDIOS GEOTECNICOS, PROYECTOS, OBRAS CIVILES, MECANICO ELECTRICAS
 URB. Primero de Mayo M z. C Lt. .09 Nuevo Chimbote – Telf. 043 – 316715
www.corporaciongeotecnia.com –EMAIL: Informes@corporaciongeotecnia.com

ENSAYO DE FLEXION DE VIGAS DE HORMIGON (NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.079, ASTM C293)

TESIS : ELABORACION DE CONCRETO HRIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTAS DE DE ACERO PARA LA MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS
UBICACIÓN : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - REGION ANCASH
TESTISTAS : MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS
 PUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON
ASUNTO : ENSAYO DE FLEXION DE PRISMAS DE CONCRETO
LUGAR : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - DEP. DE ANCASH
UNIDAD : PRISMAS DE CONCRETO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: PROYECTO DE TESIS

APROBADO POR: Ms. Julio Rivasplata Díaz

ENSAYADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio

FECHA:

CALCULADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio

CARACTERISTICAS: $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$,

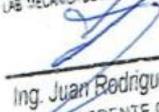
$A/C = 0.458$

Adición del 6% Viruta de Acero

Viga	1	2	3
Fecha de Fabricación	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019
Fecha de Ensayo	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Identificación de testigo	V-01	V-02	V-03
Resistencia esperada a los 28 días	280	280	280
Longitud (mm)	502	502	503
Ancho	151	152	152
Altura	152	152	154
Longitud de apoyo (mm)	452	453	450
Volumen (cm ³)	10374.30	10466.11	10533.60
Masa (gr)	25427	24198	24448
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.45	2.31	2.32
Carga de Rotura (kN)	34.15	34.87	34.87
Carga de Rotura (kg)	3481.14	3554.54	3554.54
Módulo de rotura (kg/cm ²)	45.10	45.85	44.37
Promedio (kg/cm²)	45.11		

OBSERVACIONES:

Las muestras fueron elaboradas e identificadas por los solicitantes

CORPORACION GEOTECNIA S.A.C.
 LAB. MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

 Ing. Juan Rodriguez Piminchumo
 GERENTE GENERAL



CORPORACION GEOTECNIA SAC.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO
ESTUDIOS GEOTECNICOS, PROYECTOS, OBRAS CIVILES, MECANICO ELECTRICAS
URB. Primero de M ay o M z. C Lt. .09 Nuevo Chimbote – Telf. 043 – 316715
www.corporaciongeotecnia.com –EMAIL: Informes@corporaciongeotecnia.com

ENSAYO DE FLEXION DE VIGAS DE HORMIGON (NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.079, ASTM C293)

TESIS : ELABORACION DE CONCRETO HRIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTAS DE DE ACERO PARA LA MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS
UBICACIÓN : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - REGION ANCASH
TESTISTAS : MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS
PUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON
ASUNTO : ENSAYO DE FLEXION DE PRISMAS DE CONCRETO
LUGAR : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - DEP. DE ANCASH
UNIDAD : PRISMAS DE CONCRETO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: PROYECTO DE TESIS

APROBADO POR: Ms. Julio Rivasplata Díaz

ENSAYADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio

FECHA:

CALCULADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio

CARACTERISTICAS: $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$,

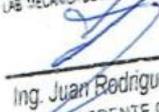
$A/C = 0.458$

Adición del 8% Viruta de Acero

Viga	1	2	3
Fecha de Fabricación	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019
Fecha de Ensayo	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Identificación de testigo	V-01	V-02	V-03
Resistencia esperada a los 28 días	280	280	280
Longitud (mm)	502	503	502
Ancho	151	152	150
Altura	154	153	151
Longitud de apoyo (mm)	452	452	451
Volumen (cm ³)	10510.81	10511.71	10215.15
Masa (gr)	25384	24692	25017
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.42	2.35	2.45
Carga de Rotura (kN)	35.06	35.18	34.49
Carga de Rotura (kg)	3573.90	3586.14	3515.80
Módulo de rotura (kg/cm ²)	45.11	45.56	46.36
Promedio (kg/cm²)	45.68		

OBSERVACIONES:

Las muestras fueron elaboradas e identificadas por los solicitantes

CORPORACION GEOTECNIA S.A.C.
LAB. MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Juan Rodriguez Piminchumo
GERENTE GENERAL



CORPORACION GEOTECNIA SAC.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO
ESTUDIOS GEOTECNICOS, PROYECTOS, OBRAS CIVILES, MECANICO ELECTRICAS
URB. Primero de M ay o M z. C Lt. .09 Nuevo Chimbote – Telf. 043 – 316715
www.corporaciongeotecnia.com –EMAIL: Informes@corporaciongeotecnia.com

ENSAYO DE FLEXION DE VIGAS DE HORMIGON (NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.079, ASTM C293)

TESIS : ELABORACION DE CONCRETO HRIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTAS DE DE ACERO PARA LA MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS
UBICACIÓN : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - REGION ANCASH
TESTISTAS : MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS
PUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON
ASUNTO : ENSAYO DE FLEXION DE PRISMAS DE CONCRETO
LUGAR : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - DEP. DE ANCASH
UNIDAD : PRISMAS DE CONCRETO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: PROYECTO DE TESIS

APROBADO POR: Ms. Julio Rivasplata Díaz

ENSAYADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio

FECHA:

CALCULADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio

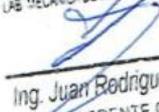
CARACTERISTICAS: $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$,
A/C = 0.458

Adición del 10% Viruta de Acero

Viga	1	2	3
Fecha de Fabricación	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019
Fecha de Ensayo	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Identificación de testigo	V-01	V-02	V-03
Resistencia esperada a los 28 días	280	280	280
Longitud (mm)	501	502	501
Ancho	152	151	151
Altura	151	152	152
Longitud de apoyo (mm)	450	451	450
Volumen (cm ³)	10328.40	10351.35	10328.40
Masa (gr)	25920	26640	26540
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.45	2.46	2.36
Carga de Rotura (kN)	35.08	35.44	34.92
Carga de Rotura (kg)	3575.94	3612.64	3559.63
Módulo de rotura (kg/cm ²)	46.43	46.70	45.91
Promedio (kg/cm ²)	46.35		

OBSERVACIONES:

Las muestras fueron elaboradas e identificadas por los solicitantes

CORPORACION GEOTECNIA S.A.C.
LAB. MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Juan Rodriguez Piminchumo
GERENTE GENERAL



CORPORACION GEOTECNIA SAC.

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTO
ESTUDIOS GEOTECNICOS, PROYECTOS, OBRAS CIVILES, MECANICO ELECTRICAS
URB. Primero de M ay o M z. C Lt. .09 Nuevo Chimbote – Telf. 043 – 316715
www.corporaciongeotecnia.com –EMAIL: Informes@corporaciongeotecnia.com

ENSAYO DE FLEXION DE VIGAS DE HORMIGON (NORMA TECNICA PERUANA NTP 339.079, ASTM C293)

TESIS : ELABORACION DE CONCRETO HRIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS ADICIONANDO VIRUTAS DE DE ACERO PARA LA MEJORA DE SUS PROPIEDADES MECÁNICAS
UBICACIÓN : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - REGION ANCASH
TESTISTAS : MEDINA CASTRO CRISTHIAN ALEXIS
PUMARICRA CARRILLO SERGIO ANDERSSON
ASUNTO : ENSAYO DE FLEXION DE PRISMAS DE CONCRETO
LUGAR : DISTRITO DE NUEVO CHIMBOTE - PROV. DEL SANTA - DEP. DE ANCASH
UNIDAD : PRISMAS DE CONCRETO

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: PROYECTO DE TESIS

APROBADO POR: Ms. Julio Rivasplata Díaz

ENSAYADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio

FECHA:

CALCULADO POR: Medina Castro Cristhian y Pumaricra Carrillo Sergio

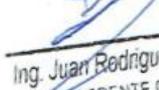
CARACTERISTICAS: $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$,
A/C = 0.458

Adición del 12% Viruta de Acero

Viga	1	2	3
Fecha de Fabricación	12/08/2019	12/08/2019	12/08/2019
Fecha de Ensayo	09/09/2019	09/09/2019	09/09/2019
Identificación de testigo	V-01	V-02	V-03
Resistencia esperada a los 28 días	280	280	280
Longitud (mm)	502	501	501
Ancho	151	151	152
Altura	153	151	151
Longitud de apoyo (mm)	450	451	450
Volumen (cm ³)	10396.35	10283.25	10328.40
Masa (gr)	25920	26640	26540
Peso Unitario (gr/cm ³)	2.46	2.41	2.44
Carga de Rotura (kN)	35.57	34.71	35.56
Carga de Rotura (kg)	3625.89	3538.23	3624.87
Módulo de rotura (kg/cm ²)	46.16	46.35	47.07
Promedio (kg/cm ²)	46.52		

OBSERVACIONES:

Las muestras fueron elaboradas e identificadas por los solicitantes

CORPORACION GEOTECNIA S.A.C.
LAB. MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Ing. Juan Rodriguez Piminchumo
GERENTE GENERAL

7.4. Anexo N° 04: Panel Fotográfico



Foto 1: Realización de la práctica estándar de reducción de muestras para los agregados

Foto 2: Tamizado con las mallas estándar del agregado fino para hallar su granulometría.



Foto 3: Tamizado con las mallas estándar del agregado grueso para hallar su granulometría.



Foto 4: Ensayo para resultado de peso unitario del agregado fino.

Foto 5: Fiola con agua y agregado fino lista para ser hervida para encontrar el peso específico del agregado fino.

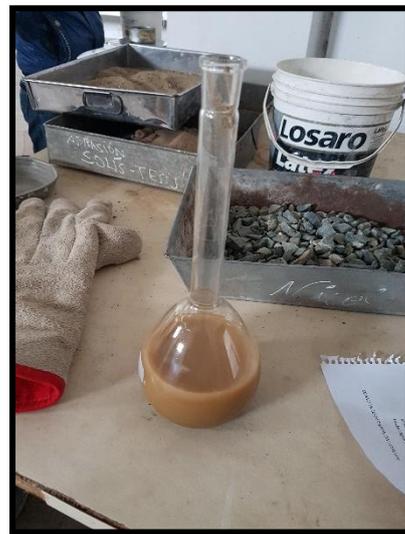


Foto 6 – Foto 7 – Foto 8: Alistando la dosificación en peso de los componentes del concreto previo al mezclado en el trompo.



Foto 9: Realizando el procedimiento de laboratorio para el mezclado del concreto en el trompo.



Foto 10: Mezcla de concreto en el trompo.



Foto 11: Cubriendo el trompo mientras se espera el tiempo según el manual de ensayo de materiales.



Foto 12 – Foto 13: Ensayo del cono de Abrams para determinar el Slump del Concreto.

Foto 14: Elaboración de testigos (probetas) de concreto.



Foto 15: Elaboración de testigos (vigas) de concreto.



Foto 16: Resultado de resistencia a la compresión de testigo (probeta) de concreto.

Foto 17: Testigo (probeta) de concreto ensayado.



Foto 18: Testigo (probeta) de concreto ensayado se puede notar la presencia de la viruta de acero.



Foto 19: Colocación de viga para la rotura mediante el método de la viga simple cargada en el punto central.

Foto 20: Rotura dentro de los $2/3$ de luz (rotura aceptada), esto es una rotura aceptada.

