

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE BALDOSAS DE CONCRETO ESTAMPADO, UNA NUEVA ALTERNATIVA PARA PAVIMENTOS ARTICULADOS”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

BACHILLER: DANTE HARTMAN CIEZA LEÓN

ASESOR: M. en I. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA

Cajamarca - Perú

2015

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a DIOS.

A SANDRA MI MADRE, por darme la vida, su inmenso amor, que ha sabido formarme con buenos sentimientos y hábitos, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

A DEMETRIO MI PADRE, quien con su ejemplo supo inculcarme valor, verdad, justicia, perseverancia, por amarme, por creer siempre en mí y ser el icono de mi ser.

A MIS HERMANOS ROLANDO Y MYLIN, por ser los compañeros incondicionales y por compartir siempre mis alegrías, logros y tristezas.

A MI HIJO XIU LIAN para quien ningún sacrificio es suficiente, que con su luz ha iluminado mi vida haciendo mi camino más claro y lograr que sea siempre persona de bien.

A YULI KARINA mi compañera de viaje en el devenir del tiempo, en el trabajo y en el amor por acompañarme en los buenos y malos momentos, ser mi consejera y confidente.

AGRADECIMIENTO

A LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Por haberme brindado los conocimientos necesarios para poder desempeñarme como un profesional al servicio de la comunidad Cajamarquina y Peruana.

A MI ASESOR

M. en I. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA, por haberme ayudado, asesorado y colaborado en la ejecución de esta tesis.

A todos los profesionales, docentes y compañeros de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil que de alguna u otra manera aportaron con su conocimiento y experiencia para realizar este proyecto.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
INDICE DE CONTENIDO	4
INDICE DE TABLAS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Justificación de la investigación	12
1.4. Alcances o delimitación de la investigación	12
1.5. Limitaciones	13
1.6. Objetivos	13
1.6.1. Objetivo general	13
1.6.2. Objetivos específicos	13
1.7. Hipótesis de la investigación	14
1.7.1. Hipótesis general	14
1.7.2. Definición de variables	14
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	16
2.1. Marco referencial:	16
2.1.1. A nivel internacional	16
2.1.2. A nivel nacional	16
2.1.3. A nivel local	17
2.2. Marco teórico	18
2.2.1. Componentes del concreto	18
2.2.1.1. Agregados	18
a. Definición	18
b. Importancia	18
c. Agregado usado en la presente tesis	18
d. Propiedades	19
d.1 Propiedades Resistentes De Los Agregados	19
Resistencia	19
Tenacidad	19
Dureza	20
Módulo De Elasticidad	20
Propiedades térmicas	20
Porosidad	20
Adherencia	20
d.2. Propiedades Químicas De Los Agregados	21
Reacción Álcali-Silice	21
Reacción Álcali-carbonatos	21
d.3 Propiedades Físicas De Los Agregados	21
Análisis Granulométrico	21
Módulo De Finura	22
Peso Especifico y Absorción	22
Contenido de Humedad	25
Peso Unitario	25

	Porcentaje que pasa el tamiz # 200	26
	Textura	26
2.2.1.2	Agua	26
a.	Agua de mezclado	27
b.	Agua de curado	27
c.	Relación agua: material cementante	27
d.	Curado	28
2.2.1.3	Cemento	29
a.	Definición	29
b.	Propiedades físicas y mecánicas del cemento	30
b.1	Fraguado y endurecido	30
b.2	Finura	30
b.3	Resistencia mecánica	30
2.2.2.	Concreto	31
2.2.2.1.	Definición	31
2.2.2.2.	Propiedades principales del concreto fresco	31
a.	Trabajabilidad	31
b.	Estabilidad	32
c.	Compactibilidad	32
d.	Movilidad	32
e.	Segregación	32
f.	Exudación	33
g.	Contracción	33
h.	Peso unitario	33
2.2.2.3.	Propiedades principales del concreto endurecido	34
a.	Elasticidad	34
b.	Resistencia	34
c.	Durabilidad	35
d.	Porosidad	35
2.2.3.	Diseño de mezcla de concreto	37
2.2.3.1.	Método Experimental Volumétrico (Método Empírico):	37
2.2.3.2	Procedimiento	37
2.2.4.	Pavimentos articulados	38
2.2.4.1.	Bloques de concreto	38
a.	Capas de Pavimentos articulados:	38
b.	Requisitos de los materiales	39
c.	Materiales, forma y tamaño de los bloques articulados	41
d.	Utilidad de los pavimentos de articulados de concreto	42
e.	Ventajas ofrecen los pavimentos de adoquines	42
e.1.	Ventajas debidas al proceso de construcción	42
e.2.	Ventajas debidas al manejo del pavimento	43
e.3.	Ventajas debidas a su apariencia	44
e.4.	Ventajas relativas a la seguridad	44
e.5.	Ventajas relativas a la durabilidad	44
e.6.	Ventajas relativas al costo de construcción	45
f.	Algunos limitantes que presentan los pavimentos de adoquines	45
2.2.5.	Fallas en pavimentos	47
2.2.5.1.	Fallas en juntas.	47
a.	Deficiencias del Sellado	47

b.	Juntas saltadas	48
c.	Separación de la junta longitudinal	48
d.	Fisura inducida de la junta	48
2.2.5.2.	Fallas por fisuras o grietas	49
a.	Grietas de esquina	49
b.	Grietas Longitudinales	49
c.	Grietas transversales	50
d.	Fragmentación múltiple	50
2.2.5.3.	Fallas por deterioro superficial	50
a.	Fisuramiento por retracción (tipo malla).	50
b.	Desintegración	51
c.	Hundimiento	51
d.	Baches	51
2.2.5.4.	Fallas por otros deterioros	52
a.	Levantamiento localizado	52
b.	Escalonamiento de juntas y grietas	52
c.	Descenso de la berma	53
d.	Separación entre berma y pavimento	53
e.	Parches deteriorados	53
f.	Surgencia de finos	54
2.2.6.	Juntas	54
2.2.6.1.	Tipo de juntas	55
a.	Juntas de contracción	55
b.	Juntas de aislamiento o expansión	55
c.	Juntas de construcción	55
d.	Juntas de control	55
2.2.6.1.	Motivo de la construcción de juntas	56
2.2.6.1.	Disposición de juntas	56
2.3.	Marco conceptual	57
2.3.1.	Concreto impreso	57
2.3.2.	Cemento Extraforte ICo	57
2.3.3.	Adoquín	58
2.3.4.	Esponjamiento	58
2.3.5.	Articulación	58
2.3.6.	Reticula	58
2.3.7.	Estampado	58
2.3.8.	Propiedad tecnológica	58
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		59
3.1	Material de estudio	59
3.1.1	Material experimental	59
3.1.2	Equipo experimental	59
3.1.3	Equipo para las muestras	59
3.1.4	Material para la determinación de las características físicas de agregado	60
3.1.4.1.	Materiales	60
3.1.4.2.	Equipo	60
3.2.	Metodología	60
3.2.1.	Tipo de investigación	60
3.2.2.	Población de estudio	61
3.2.3.	Muestra	61

3.2.4.	Unidad de análisis	61
3.2.5.	Forma de análisis	62
3.2.6.	Etapas	63
3.3.	Procedimientos	64
3.3.1.	Procedimiento para la confección de estampador	64
3.3.2.	Procedimiento del estampado	64
3.3.3.	Procedimiento del análisis cualitativo de tamaño máximo y asentamiento en diseño de mezcla	64
3.3.4.	Procedimiento de la prueba experimental para dosificación volumétrica	66
3.3.5.	Procedimiento del cálculo de resistencia a carga de la muestras tipo B	66
3.3.6.	Procedimiento para el análisis del área de influencia de la carga aplicada en muestras	67
3.3.7.	Procedimiento para la prueba cronológica de durabilidad.	68
3.3.8.	Procedimiento para la resistencia a carga de la muestra tipo A	68
3.3.9.	Procedimiento para la resistencia a flexión de la muestra	69
3.3.10.	Procesamiento de la información	69
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION		70
4.1.	Resultados de los ensayos a compresión de la muestra de tipo B:	70
4.2.	Proporcionamiento volumétrico	71
4.5.	Proporcionamiento en peso	71
4.6.	Rendimiento por bolsa de cemento	71
4.7.	Cantidad de materiales de diseño por metro cubico de concreto	71
4.8.	Resultado cronológico de durabilidad	72
4.9.	Resultados de la resistencia a carga de la muestra tipo A	72
4.9.1	Compresión en la superficie	72
4.9.2	Compresión en el eje de la muestra	73
4.10	Análisis de un pavimento estampado	73
4.10.1.	Estampado por losas	73
4.10.2.	Continuidad del estampado	74
4.10.3.	Herramienta de impresión	75
4.11.	Mantenimiento del pavimento estampado	76
4.12.	Análisis de las posibles causas que puedan agrietar o fisurar el pavimento estampado	76
4.12.1.	Abultamiento	77
4.12.2.	Desgaste superficial	78
4.12.3.	Fracturamiento	78
4.12.4.	Fracturamiento de confinamientos internos	79
4.12.5.	Vegetación	79
4.13.	Comparación de un pavimento estampado frente a un adoquinado ventajas y desventajas	80
4.14.	DISCUSIÓN	81
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		83
5.1.	CONCLUSIONES	83
5.2.	RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		86
ANEXOS		90
A.	Cálculo de las propiedades físicas y mecánicas del Agregado Fino	90
a.1	Análisis granulométrico	90
a.2.	Módulo de finura	93
a.3.	Peso específico y absorción	93
a.4.	Contenido de humedad	95

a.5. Peso unitario	95
a.6. Porcentaje que pasa el tamiz # 200	96
a.7. Esponjamiento	97
B. Cálculos de dosificación y cantidades de material	97
b.1. Calculo de dosificación proporcional en Peso	97
b.2. Cálculo de la cantidad de materiales por el método de los volúmenes absolutos	98
C. Resistencias a la compresión de muestras ensayadas	99
D. Grado de dispersión en áreas de influencia de muestras ensayadas a compresión	102
E. Muestras sometidas a compresión	103
c.1. Ensayos para muestras en dosificación 1:4:0.5 TM:3/8" y Consistencia: Plástica	103
c.2. Ensayos para muestras en dosificación 1:4:0.5 TM: ¼" y Consistencia: Óptima	106
F. Tablas	109
G. Imágenes	113
H. Panel Fotográfico	126
I. Especificaciones técnicas del perfil laminado SIDERPERU del estampador metálico	128
J. Especificaciones técnicas del cemento usado	129
K. Especificaciones técnicas de bloque de un adoquín	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Muestras según consistencia y tamaño máximo	62
Tabla 02. Dosificación para diversas edades y tamaños máximos	62
Tabla 03. Experimentación cualitativa para un revenimiento y tamaño máximo adecuado	65
Tabla 04. Carga en Toneladas y Presión para Dosificación de Tamaño Máximo: 3/8"	66
Tabla 05. Carga en Toneladas y Presión para Dosificación de Tamaño Máximo: 1/4"	67
Tabla 06. Resultados de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas del agregado ensayado	70
Tabla 07. Resistencias a compresión según dosificación volumétrica	70
Tabla 08. Cargas, áreas y resistencias encontradas en los ensayos a compresión para muestras con Consistencia Plástica y TM 3/8"	99
Tabla 09. Cargas, áreas y resistencias encontradas en los ensayos a compresión para muestras con Consistencia: Óptima y TM 1/4"	101
Tabla 10. Áreas de influencia de cada muestra ensayada	102
Tabla N° 11. Husos granulométricos del agregado fino	109
Tabla N° 12. Relación de las principales propiedades de los agregados con los aspectos del comportamiento del concreto	109
Tabla N° 13. Principales componentes del cemento Portland	110
Tabla N° 14. Ajuste principal para brindar las características especiales al cemento	110
Tabla N° 15. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra	111
Tabla N° 16. Consistencia y asentamientos	111
Tabla N° 17. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción	111
Tabla N° 18. Límites de sustancia permisibles en el agua de mezcla o curado.	112
Tabla N° 19. Límites de sustancia permisibles en el agua de mezcla o curado no potable.	112

RESUMEN

La presente investigación se basó en el estudio del comportamiento físico – mecánico de un diseño reticular que estampe pavimentos articulados. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal determinar características tecnológicas, comportamiento a esfuerzos mecánicos y naturales en baldosas de concreto estampado, como nueva alternativa en pavimentos articulados comerciales. La metodología empleada consistió en la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales constituyentes como de los agregados usados (cantera del río Chonta), el diseño de un impresor metálico y su desempeño en el estampado de pavimentos articulados, como también un diseño experimental de mezcla de concreto adecuado con una resistencia especificada de 210 Kg/cm² usando un método empírico volumétrico, considerando condiciones como tamaño máximo del agregado, asentamiento del concreto. Se determinó la cantidad de materiales para la elaboración de mezclas de prueba en laboratorio y los ajustes necesarios correspondientes logrando una dosificación volumétrica de 1:4.2:0.52 Se procedió la elaboración de especímenes acondicionados: bloques estampados de 40 cm x 40 cm x 8 cm, y bloques estampados de 10 cm x 20 cm x 8 cm las mismas que fueron curadas adecuadamente y ensayadas a los 28 días de edad, evaluándose en cada etapa las características tanto físicas como mecánicas. Se concluyó que el concreto estampado es una buena alternativa para realizar pavimentos articulados, durables, estéticos y resistentes.

Palabras clave: Concreto estampado, pavimento articulado, diseño empírico volumétrico, resistencia mecánica.

ABSTRACT

This research was based on the study of the physical behavior - Mechanical design of a stamp reticular floor articulated. This research had as main objective to determine technological properties, mechanical behavior and natural efforts stamped concrete floors, as new alternative trading floor articulated. The methodology consisted of determining the physical and mechanical constituent materials used as aggregates (quarry river Chonta), the design of a metallic printing and embossing performance articulated pavement properties, as well as an experimental design suitable concrete mix with a specified strength of 210 kg / cm² using a volumetric empirical method, considering conditions maximum size of aggregate, concrete slump. The amount of materials was determined to prepare mixtures of laboratory testing and making the necessary adjustments for a volumetric dosage of 1: 4.2: 0.52 preparing specimens were conditioned proceeded: prints blocks of 40 cm x 40 cm x 8 cm, and patterned blocks 10 cm x 20 cm x 8 cm were the same as tested properly and at 28 days of age cured, evaluated at each stage both the physical and mechanical characteristics. It was concluded that stamped concrete is a good alternative for articulated, durable, aesthetic and resilient flooring.

Keywords: Stamped concrete, articulated pavement, volumetric empirical design, mechanical strength.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema:

La inquietud del hombre ante la necesidad de poseer una superficie adecuada para el desplazamiento de las personas en cualquier estación del año fue lo que impulsó el origen de los adoquines de concreto, su surgimiento data con el abandono de las superficies en rocas sin labrar por un recubrimiento con roca tallada ya que los vehículos se diseñaron para un medio en que pudieran transitar con comodidad. En la actualidad los pavimentos con adoquines de concreto, tienen un uso limitado en su contexto, se los ve en áreas como avenidas, caminos peatonales, patios, zonas de parqueo, en áreas internas de muchas urbanizaciones y otras.

En el avance tecnológico de los materiales para construcción se usan pavimentos articulados, los que requieren de un nuevo tipo de diseño para lograr una mejor performance en su desempeño estructural.

Hoy en día por lo general se usa adoquines que en su proceso constructivo la capacidad portante de cada unidad está fijada de antemano por ser elementos prefabricados, su fácil colocación, reemplazo en caso de deterioro, su fácil aparejo y confinamiento.

Analizando las características de las unidades actuales del pavimento articulado, nace la idea del presente trabajo de investigación, el que consiste en proponer una nueva unidad que denomino: "Baldosa de concreto estampado para lograr un pavimento articulado", obteniendo un pavimento vistoso y duradero. Las baldosas de concreto estampado en pavimentos, son pequeñas losas cuya superficie será estampada, mediante nervaduras de 3 mm de ancho y 25 mm de profundidad a "bajorrelieve", el grabado es un proceso que se realizara cuando se hace el vaciado del elemento, mediante sellos metálicos apropiadamente diseñados para este fin, la textura acabada será la necesaria para el pavimento en mención. El estampado tiene una geometría diversiforme, dependiendo a la propuesta del diseñador, de tal forma que su textura y coloración final sean eficientes y agradables a la vista. (Puede imitar adoquines, piedra, ladrillo, pizarras etc.).

El presente trabajo de investigación, trata de evaluar las propiedades y ventajas de esta nueva propuesta y compararlas con las propiedades del método convencional de un adoquinado, pero con una superficie de rodadura de mejor textura y resistencia, y también con un menor costo también por metro cuadrado de pavimento conformado, así como un diseño constructivo más fácil y económico.

1.2. Formulación del problema:

¿Cuál es el comportamiento mecánico de baldosas de concreto estampado en la conformación de un pavimento articulado?

1.3. Justificación de la investigación:

- **Por el beneficio:** Con el presente trabajo se trata de encontrar mejores alternativas para obtener pavimentos articulados optimizando su costo, calidad, resistencia y tiempo.
- **Como fuente bibliográfica:** Se aspira o anhela, que constituya una fuente bibliográfica para estudiantes y profesionales interesados en soluciones de pavimentos articulados.

1.4. Alcances o delimitación de la investigación:

La investigación abarca el estudio del diseño de capas de rodadura conformada por articulaciones de concreto, colocados sobre una capa de arena y con sus juntas estampadas. Los elementos de la unidad experimental son:

- La cara superior (o superficie de desgaste) sobre la cual circula el tránsito y que define la forma del pavimento estampado.
- La cara inferior, similar a la superior, sobre la que se apoya la muestra.
- Las caras laterales o paredes, curvas o rectas, pero verticales y sin llaves, que conforman el volumen y determinan el espesor.
- El bombeo o el alabeo en los bordes de la cara superior que se puede o no hacer en el momento del estampado. No debe ser muy abultado y no es indispensable, pero mejora la apariencia del pavimento, que facilitan textura y contribuyen al llenado de la junta.
- Espesor. La muestra estampada se realizó en espesor de 8 cm para tránsito peatonal y vehicular liviano.

1.5. Limitaciones.

- No es factible obtener la resistencia de las baldosas de concreto estampado por durabilidad a largo plazo, ya que requiere un lapso de tiempo extenso (de años).
- No se realizó el pigmentado de las baldosas con adiciones y no se determinó su resistencia al intemperismo a largo plazo.
- No existen normas técnicas, para su estudio tecnológico.
- Se realizó sólo un diseño de patrón estampado en la superficie de las baldosas.

1.6. Objetivos:

1.6.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento mecánico de baldosas de concreto estampado, una nueva alternativa para pavimentos articulados.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades tecnológicas de los agregados a utilizarse en la elaboración del concreto para la obtención de las baldosas estampadas.
- Realizar el diseño de mezcla de concreto con una resistencia de 210 Kg/cm² a los 28 días que se va usar, en la elaboración de las baldosas de concreto impreso.
- Realizar el diseño de un equipo de estampado y analizar sus características
- Analizar las características físico - mecánicas no establecidas en un tipo de pavimento estampado.
- Realizar pruebas de durabilidad en muestras de pavimento estampado expuestas a cargas de servicio y analizar resultados. Determinar las características geométricas, funcionales, estructurales, estéticos del nuevo pavimento haciendo comparación con pavimentos convencionales.

1.7. Hipótesis de la investigación

1.7.1. Hipótesis general

Existe un adecuado comportamiento mecánico en baldosas de concreto estampado

1.7.2. Definición de variables

a. Variables intervinientes:

Propiedades de los materiales constitutivos

Definición nominal: Las propiedades de los materiales constitutivos son las características de los elementos que se necesitan para fabricar o diseñar un objeto.

Definición operacional: Se hallará las propiedades físico – mecánicas de los materiales necesarios para el diseño de mezcla de un pavimento estampado.

Diseño de impresión.

Definición nominal:

El diseño de impresión es el conjunto de estudios necesarios para conseguir una impresión.

Definición operacional:

Se diseñará una herramienta que pueda estampar pavimentos de concreto

b. Variable de la investigación: El Comportamiento mecánico de baldosas de concreto estampado.

Definición Nominal

El comportamiento mecánico de baldosas de concreto estampado – tecnología constructiva está modulada a las propiedades de los materiales constitutivos y diseño de impresión.

Definición operacional

Variables	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos	
Variable de la investigación: El Comportamiento mecánico de baldosas de concreto estampado.		<p>Diseño estructural de concreto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Consistencia del concreto plástica • Tamaño máximo de agregados. • Esfuerzo de rotura de un espécimen de concreto. 	<p>Norma Técnica ASTM C-39 Ensayo Resistencia del Concreto</p> <p>Norma Técnica ASTM C-143 Ensayo Revenimiento del concreto</p>	<p>Prensa hidráulica.</p> <p>Tamices de Granulometría: ½", ¾", ¼", N° 4</p> <p>Cono de Abrahms</p>
	Propiedades de los materiales constitutivos	Estudio de los materiales constitutivos del concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Cemento • Agua • Agregado Grueso • Agregado Fino 	<p>Granulometría</p> <p>Peso específico</p> <p>Absorción</p> <p>Tamaño máximo</p> <p>Peso Unitario volumétrico suelto y compactado.</p> <p>Porcentaje de Finos</p>	<p>Mallas de granulometría.</p> <p>Balanzas.</p> <p>Voluminómetros.</p> <p>Molde metálico para espécimen estándar de concreto.</p> <p>Equipo para peso específico de agregado grueso y agregado fino.</p>
	Textura		Índice de rugosidad	Análisis visual	Diseño de estampado
	Durabilidad		Exposición	Exposición a Intemperie, cargas de servicio	Observación, análisis de especificaciones.
	Diseño de estampado	Características Físicas	<p>Ventajas y desventajas</p> <p>Patologías del pavimento común</p>	Correlación con nuevos diseños	Observación, análisis de especificaciones.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Referencial:

2.1.1. A nivel internacional

Centro Constructor Argentina - 2013. «Características del Adoquin Intergrabado de Alto Transito.» Referencia web:

<http://www.centroconstructor.com.ar/ladrillo/bloques/cemento/hormigon/adoquines/intergrabados/articulos/caracteristicas-del-adoquin>

Concluye lo siguiente: Los pavimentos adoquinados se pueden utilizar en andenes, zonas peatonales y plazas, donde el tráfico es básicamente peatonal; en vías internas de urbanizaciones, calles y avenidas, con tráfico vehicular que puede ir desde unos cuantos vehículos livianos, hasta gran número de vehículos pesados; en zonas de carga, patios de puertos, plataformas de aeropuertos y zonas donde se tienen cargas muy altas e inclusive tráfico de vehículos montados sobre orugas.

Germán Guillermo Madrid – Argentina 2000. «Ventajas y Aplicaciones de los Pavimentos de Adoquines de Concreto.» Referencia web:

<http://www.arqcon.com.ar/pprof/Aadh/pppavhormigon1.htm#top>.

Concluye lo siguiente: Debido a la sencillez del proceso constructivo, toda la estructura del pavimento se puede construir y dar al servicio en un mismo día, por lo cual las interrupciones en el tráfico son mínimas y se logran economías en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales; además, como se trabaja con pequeñas zonas a la vez, cualquier área se puede adoquinar por etapas con lo cual no se altera ninguna economía de escala, cosa que sí ocurriría con otros tipos de pavimento; esto resulta especialmente útil para la pavimentación de unas cuantas vías cuando no se dispone de los recursos completos para acometer un plan a gran escala; se puede, por lo tanto, adoquinar en varias etapas, a medida que se vayan produciendo las piezas o se obtengan los recursos. Se puede usar este tipo de pavimento para altas cargas (Imágenes 1 y 2 – Anexos)

2.1.2. A nivel nacional

Gamboa Carranza, Ronald, Perú -2012. “El mal Estado de los Pavimentos y su Efecto en Tránsito vehicular del Distrito de Trujillo – Año 2012”.

Concluye lo siguiente:

- El mal estado de los pavimentos son por deficiencia en el momento de su elaboración, el poco cuidado del pavimento por los vecinos, el tránsito vehicular excesivo, deficiencia en calidad de materiales.
- Los tipos de daños o patologías más frecuentes son: agrietamientos transversales, agrietamientos longitudinales, agrietamientos en media luna, agrietamientos diagonales, escalonamiento, escamado y astillamiento.

Bazán Serrano, Milagritos de Jesús y Vargas Hernández, Johan César (2009) en la tesis titulada: Estudio de mejoramiento de la carretera Panamericana Norte (Km. 609), Cartavio – Santiago de Cao para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo, concluye lo siguiente:

- El Distrito de Santiago de Cao y sus aledaños, cuenta con una buena producción agroindustrial, la misma que podrá ser bien aprovechada con la construcción de ésta carretera; mejorando los niveles de vida de la población, impulsando el comercio y el turismo, y generando empleo temporal a los pobladores de la zona.
- El terreno de fundación de la carretera está constituido en su mayoría por suelos de arcilla inorgánica de baja plasticidad, arcilla con grava, arcilla arenosa, de regular a mala calidad para carreteras con un CBR de 5.49 %.
- Se ha diseñado el pavimento, obteniendo una estructura de 0.30 m de espesor de afirmado usando el método de USACE (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS) y el método del ROAD RESEARCH LABORATORY.”

2.1.3. A nivel local

Céspedes Abanto, José María – Cajamarca 2004. “El Control de calidad y el comportamiento de los pavimentos existentes en la ciudad de Cajamarca”.

Concluye lo siguiente: Hay Factores Pasivos, están directamente ligados con las características propias del pavimento, como pueden ser los espesores, los materiales usados en la conformación de cada capa de la estructura de pavimento y hasta el mismo proceso de construcción y Factores Activos, son los principales responsables del deterioro en el pavimento, estos van desde el tránsito que circula en el pavimento, hasta los factores ambientales que reinan en el lugar. Tanto los factores pasivos y activos de deterioro aceleran la aparición y posterior propagación de diversos tipos de fallas en los pavimentos.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Componentes del concreto

2.2.1.1 Agregados (NTP 400.037; Norma ASTM C 33)

a. Definición

Son materiales que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros.

La importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto.

Por lo anterior, es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta de cemento. Sus dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.037 y ASTM C 33.

b. Importancia

Los agregados en el concreto ocupan alrededor de las tres cuartas partes del volumen, de ahí la justificación para su adecuada selección. Son estos elementos los que proporcionan estabilidad volumétrica y durabilidad al concreto.

c. Agregado usado en la presente tesis

Agregado Fino

Es la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz 0.074 mm (N°200); además de cumplir con los límites establecidos en la norma NTP 400.012 o la norma ASTM C 136.

El contenido de agregado fino normalmente del 35% al 45% por masa o volumen total del agregado. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes.

El agregado no deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

Agregado grueso

Material retenido en el tamiz 4.75 mm (N ° 4) y cumple los límites establecidos en la norma NTP 400.012 o la norma ASTM C 136. El agregado grueso podrá consistir de grava o piedra partida de origen natural o artificial.

Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.

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

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 la mezcla.

d. Propiedades

d.1. Propiedades Resistentes De Los Agregados¹

Resistencia

Capacidad de soportar esfuerzos de compresión, tracción y desgaste. La resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; la textura la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia. El ensayo que se considera más representativo para hallar la resistencia mecánica de los agregados, corresponde a la prueba inglesa de “resistencia al aplastamiento”

Tenacidad

Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material. En el concreto influye directamente en la resistencia del este.

¹ Pasquel Carbajal, Enrique. 1993. *Temas En Tecnología Del Concreto En El Perú*. Lima - Perú.

Dureza

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión, abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes.

Módulo De Elasticidad

Mide la capacidad del agregado de recuperar su forma inicial tras la aplicación de un esfuerzo.

El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse.

El módulo de elasticidad del concreto, depende del módulo de elasticidad del agregado.

Propiedades térmicas

El coeficiente térmico del concreto es influenciado por los respectivos coeficientes térmicos del agregado y de la pasta de cemento, en forma aproximadamente proporcional a sus correspondientes contenidos unitarios.

Las propiedades térmicas normalmente consideradas para el concreto son la conductividad térmica (ASTM C177 para el agregado), el calor específico y la difusividad térmica

Porosidad

Volumen de espacios dentro de las partículas de agregado. La porosidad del agregado tiene influencia sobre la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad de las partículas, siendo todas estas propiedades menores conforme aumenta la porosidad del agregado.

Igualmente, las características de los poros determinan la capacidad y velocidad de absorción, la facilidad de drenaje, el área superficial interna de las partículas, y la porción de su volumen de masa ocupado por materia sólida.

Adherencia

La adherencia del agregado es una característica importante, porque la resistencia y durabilidad del concreto depende en gran parte del poder de aglutinamiento del

agregado con el material cementante. La adherencia del agregado depende de la forma, textura y tamaño de las partículas. No existe un método para medir la adherencia de un agregado con el cemento.

d.2. Propiedades Químicas De Los Agregados

Reacción Álcali-Sílice (NTP 334.067, NTP 334.099, ASTM C227, ASTM C289, ASTM C-295.)

Los agregados cuando poseen óxidos de silicio en sus formas inestables reaccionan con los hidróxidos alcalinos del cemento, produciéndose un gel que aumenta de volumen a medida que absorbe agua con lo que origina presiones internas en el concreto con la consiguiente expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta de cemento; normalmente para que se produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden del 0.6% temperaturas ambientes de 30°C y humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción.

Reacción Álcali-carbonatos (ASTM C586)

La reacción álcali - carbonato se da en concretos que tienen rocas carbonatadas como áridos. Hay dos clases de reacciones álcali-carbonato:

- Las rocas carbonatadas reaccionan con los álcalis presentes en los poros del concreto produciendo expansiones y fisuraciones nocivas,
- Las zonas periféricas de las partículas de árido en contacto con la pasta de cemento, se modifican, desarrollándose bordes sobresalientes entre la partícula y la pasta alterada que la rodea.

d.3 Propiedades Físicas De Los Agregados

Análisis Granulométrico (NTP 400.012, ASTM C 136)

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. Una elección incorrecta, puede resultar en un concreto susceptible de producir segregación o alveolado debido a un exceso de agregado grueso o en un concreto de baja densidad y alta demanda de agua provocada por un exceso de agregado fino.

Módulo De Finura (NTP 400.012, ASTM C 136)

Indicador del grosor predominante de las partículas de un agregado.

Para el caso del agregado fino:

$$M.F = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices}(N_4, N_8, N_{16}, N_{30}, N_{50}, N_{100})}{100}$$

El módulo de finura del agregado fino se mantendrá dentro del límite de ± 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2.30 y 3.10.

Para el caso del agregado grueso:

$$M.G = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices}(1", 3/4", 3/8", N^{\circ}4) + 500}{100}$$

El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas del agregado; además de estar en relación inversa al área superficial y a la demanda del agua.

Peso Específico y Absorción (NTP 400.021 - 400.022, ASTM C 127 – C 128)

La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario.

Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

- **Peso específico de masa:**

Relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material); a la masa en el aire de igual densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Para el Agregado Fino:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{W_0}{V - V_a}$$

Wo: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

V: Volumen del frasco (cm³)

Va: Peso (gr) o volumen (cm³) del agua añadida al frasco.

Para el Agregado Grueso:

$$\text{Peso específico de masa} = \frac{A}{B - C}$$

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr).

B: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca (gr).

C: Peso del agua de la muestra saturada (gr).

El peso específico puede ser un indicador de la porosidad, pero no necesariamente de su calidad intrínseca; es utilizado en el diseño de mezclas para convertir el volumen de los agregados a peso de estos.

- **Peso específico de masa saturada superficialmente seca**

Lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Para el Agregado Fino:

$$Pe,sss = \frac{500}{V - Va}$$

Pe,sss: Peso específico de masa del material saturado con superficie seca (gr/cm³)

V: Volumen del frasco (cm³)

Va: Peso (gr) o volumen (cm³) del agua añadida al frasco.

Para el Agregado Grueso:

$$\text{Peso emsss} = \frac{B}{B - C}$$

B: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca (gr).

C: Peso del agua de la muestra saturada (gr).

- **Peso específico aparente**

Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas, si el material es un sólido, el volumen es igual a la porción impermeable.

Para el Agregado Fino:

$$Pe,a = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)}$$

Pe,a: Peso específico aparente (gr/cm³)

W_o: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

V: Volumen del frasco (cm³)

V_a: Peso (gr) o volumen (cm³) del agua añadida al frasco.

Para el Agregado Grueso:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr).

C: Peso del agua de la muestra saturada (gr).

- **Absorción**

Cantidad de agua absorbida por el agregado después de estar sumergido 24 horas ésta.

Para el Agregado Fino:

$$Ab = \frac{500 \cdot W_o}{W_o} * 10$$

Ab: Porcentaje de absorción (%)

W_o: Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr)

Para el Agregado Grueso:

$$\text{Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

A: Peso en el aire de la muestra secada al horno a 105°C (gr).

B: Peso en el aire de la muestra saturada de superficie seca (gr).

La absorción, depende de la porosidad, y es importante para las correcciones en las dosificaciones de mezclas de concreto.

Contenido de Humedad (NTP 339.185, ASTM C 566)

Es el total de agua que contiene el agregado en un momento dado. Si se expresa como porcentaje de la muestra seca, se le denomina porcentaje de humedad, pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción.

Su influencia en el concreto, esta dada en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla

$$W\% = \frac{A - B}{B} \times 100$$

A: Peso de la muestra húmeda

B: Peso de la muestra seca

Peso Unitario (NTP 400.017, ASTM C 29)

Peso del material seco que se necesita para llenar un recipiente de volumen unitario. También se le denomina peso volumétrico y se emplean en la conversión de cantidades de peso a cantidades de volumen y viceversa, para calcular el porcentaje de vacíos entre las partículas del agregado.

Peso Unitario Seco Suelto

Relación peso/volumen dejando caer libremente desde cierta altura el agregado (5 cm aproximadamente), en un recipiente de volumen conocido y estable. Este dato es importante porque permite convertir pesos en volúmenes y viceversa.

Peso Unitario Seco Compactado o varillado

Este proceso es parecido al del peso unitario suelto, pero compactando el material en capas dentro del molde, éste se usa en algunos métodos de diseño de mezcla como lo es el de American Concrete Institute.

Porcentaje que pasa el tamiz # 200 (NTP 400.018, ASTM C 117)

Porcentaje que pasa el tamiz # 200:

$$\% \text{pasa tamiz N}^\circ 200 = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Wi: Peso seco de la muestra original

Wf: Peso seco de la muestra después del lavado

Porcentaje que pasa el tamiz # 200 (con lavado previo):

$$\% \text{pasa tamiz N}^\circ 200 = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Wi: Peso seco de la muestra original

Wf: Peso seco de la muestra después del lavado

El contenido de finos es importante por dos aspectos:

- A mayor suciedad habrá mayor demanda de agua, ya que aumenta la superficie a mojar y por lo tanto también aumentará el contenido de cemento.
- Si el polvo está finamente adherido a los agregados, impide una buena unión con la pasta y por lo tanto la interfase mortero-agregado será una zona débil por donde se puede originar la rotura del concreto.

Textura

Es responsable de la adherencia del agregado y de la fluidez de las mezclas de concreto.

Según la textura superficial, el agregado puede ser liso o pulido (material de río) o áspero (material triturado).

2.2.1.2 Agua

El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido. El agua cobra importancia en la fabricación del concreto como: agua de mezclado, agua de curado y agua de lavado de los agregados.

a. Agua de mezclado (NTP 339.088 – RNE E 060)

Funciones:

- Reaccionar con el cemento, produciendo su hidratación
- Actuar como un lubricante, contribuyendo a la trabajabilidad de la mezcla.
- Asegurar el espacio necesario en la pasta, para el desarrollo de los productos de hidratación. La hidratación completa del cemento requiere del 22-25%, del agua de mezclado.

Las impurezas del agua pueden presentarse disueltas o en forma de suspensión y pueden ser: carbonatos o bicarbonatos, cloruros, sulfatos, sales de hierro, sales inorgánicas, ácidos, materia orgánica, aceites, o sedimentos y pueden interferir en la hidratación del cemento, producir modificaciones del tiempo de fraguado, reducir la resistencia mecánica, causar manchas en la superficie del concreto y aumentar el riesgo de corrosión de las armaduras. Límites de sustancia permisibles en el agua de mezcla o curado. Límites de sustancia permisibles en el agua de mezcla o curado no potable).

b. Agua de curado (NTP 339.088 – RNE E 060)

El agua de curado no debe contener sustancias agresivas para el concreto endurecido o las armaduras, ya que durante las primeras edades el concreto es sumamente permeable; no emplear agua con elevados contenidos de cloruros en caso de estructuras armadas, evitar sustancias que puedan provocar decoloraciones o manchas superficiales y mantener reducida la diferencia de temperatura entre el agua de curado y el concreto para evitar la aparición de fisuras.

c. Relación agua: material cementante²

De ella dependen la resistencia y la durabilidad, así como los coeficientes de retracción y de fluencia. También determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

² Pasquel Carbajal, Enrique. 1993. *TOPICOS EN TECNOLOGIA DEL CONCRETO EN EL PERU*. Lima - Perú.

$$R = A/C$$

R: Relación agua/ material cementante

A: Masa de agua del concreto fresco

C: Masa del material cementante del concreto fresco

Cuanto más baja es la relación agua / material cementante tanto más favorables son las propiedades de la pasta de cemento endurecida, si en cambio esta relación es mayor, habrá mayor cantidad de poros capilares en la pasta de cemento, logrando el incrementando de la permeabilidad y reduciendo la resistencia.

Para A/C alta sobra agua de hidratación y todo el cemento se hidrata.

Para A/C = 0.42 no sobra agua de hidratación

Para A/C < 0.42 queda cemento sin hidratar

Relación agua / material cementante; por resistencia, muestra la esta relación A/C para los diferentes tamaño máximo nominal del agregado grueso.

d. Curado (NTP 339.033, ASTM C31, ASTM C 192, ASTM C 156)

Los especímenes deben contar con una humedad relativa entre el 95 y 100 %, o bien disponer los cilindros en una pileta con agua saturada con cal (2 % del peso del agua) con temperatura de 23 +/- 2 ° C en ambos casos.

El objeto del curado es mantener el concreto saturado, ya que la hidratación del cemento solo se logra en capilares llenos de agua. Además debe controlarse la temperatura, puesto que la rapidez de hidratación es más lenta a bajas temperaturas y más rápida a temperaturas elevadas (100°C).

Métodos de curado con agua.

- Anegamiento o inmersión. Es el método más completo de curado. Se usa cuando se trata de losas para pisos, puentes o pavimentos, techos planos (azoteas), es decir, en cualquier lugar donde sea posible almacenar agua con una altura pequeña.
- Rociado de niebla o aspersión

El rociado de niebla o aspersión mediante boquilla o aspersores proporciona un curado excelente cuando la temperatura es bastante superior a la congelación.

- Costales, carpetas de algodón y alfombras

Estos materiales retienen agua sobre la superficie de concreto. Cuanto más pesado sea el costal (o más grueso) más agua retendrá y requerirá periodos de remojo más prolongados.

- Curado con tierra

Se emplea especialmente en trabajos comparativamente más pequeños que losas o pisos. Lo importante es que la tierra esté libre de partículas mayores de 25 mm y que no contenga cantidades peligrosas de materia orgánica.

- Curado con arena y aserrín

La arena limpia y el aserrín, ambos mojados, se emplean para el curado de la misma manera que la tierra.

- Curado con paja o heno

Cuando se utiliza en el curado este tipo de materiales deben aplicarse capas gruesas y mojadas, para evitar que el viento los levante (debe tener un mínimo de 15 cm de espesor).

2.2.1.3 Cemento³

a. Definición

El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un Clinker finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contienen cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones determinadas. (Imagen 03 - Anexos)

³ Castillo, Flavio Abanto. 2001. *Tecnología del Concreto*. Lima - Perú: San Marcos.

Las materias primas, finamente molidas e íntimamente mezcladas, se calientan hasta principio de la fusión (1400-1450 C°), usualmente en grandes hornos giratorios, que pueden llegar a medir más de 200 mts de longitud y 5.50 mts de diámetro.

Al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina «clinker» (pequeñas esferas de color gris negruzco, duras y de diferentes tamaños). El clinker enfriado y molido a polvo muy fino, es lo que constituye el ce - mentó portland comercial. Durante la molienda se agrega una pequeña cantidad de yeso (3 ó 4 %), para regular la fragua del cemento.

b. Propiedades físicas y mecánicas del cemento

b.1. Fraguado y endurecido

La fragua es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento. Hay dos etapas de fraguado: a) Fraguado inicial cuando la masa empieza a perder plasticidad; b) Fraguado final, cuando la pasta de cemento deja de ser deformable y se convierte en un bloque rígido. El endurecimiento es el desarrollo lento de la resistencia.

b.2. Finura (ASTM 325; 43)

Influye decisivamente en la velocidad de reacciones químicas que tienen lugar durante el fraguado y el principio de este. La finura influye sobre las propiedades de ganancia de resistencia, en especial hasta un envejecimiento de 7 días.

La finura del cemento influye en el calor de hidratación.

Los cementos más finos experimentan una reacción más fuerte con los agregados reactivos alcalinos.

La finura aumenta la cantidad de yeso requerida para propiciar un efecto retardante requerida puesto que existe más C3A libre para una hidratación temprana

b.3. Resistencia mecánica

La velocidad de endurecimiento del cemento depende de las propiedades químicas y físicas del propio cemento y de las condiciones de curado, como son la temperatura y la humedad. La relación agua/cemento (A/C) influye sobre el valor de la resistencia última, con base en el efecto del agua sobre la porosidad de la pasta.

Una relación A/C elevada produce una pasta de alta porosidad y baja resistencia.

La resistencia es medida a los 3, 7 y 28 días, teniendo estas que cumplir los valores mínimos.

Para determinar la resistencia a la compresión, se realiza el ensayo de Compresión (NTP 339.034).

2.2.2. Concreto

2.2.2.1. Definición

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. Mediante un proceso llamado hidratación, las partículas del cemento reaccionan químicamente con el agua y el concreto se endurece y se convierte en un material durable.

2.2.2.2. Propiedades principales del concreto fresco⁴

a. Trabajabilidad

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto.

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

Por lo general un concreto es trabajable en la mayoría de circunstancias, cuando durante su desplazamiento mantiene siempre una película de mortero de al menos 1/4" sobre el agregado grueso.

El método para medir la trabajabilidad es el "Slump" o consistencia con el cono de Abrahms, ya que permite una aproximación numérica a esta.

El slump se mide con el ensayo establecido en la NTP 339.035 ASTM C143 (Consistencia de concreto fresco con el cono de Abrahms)

⁴Pasquel Carbajal, Enrique. 1993. *Temas en tecnología del concreto en el Perú*. Lima - Perú.

b. Estabilidad

Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas. Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, ambos fenómenos no dependen expresamente del exceso de agua en la mezcla sino del contenido de finos y de las propiedades adherentes de la pasta.

c. Compactibilidad

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado “Factor de compactación”, que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado.

d. Movilidad

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación de trabajo externo. Se evalúan en función de la viscosidad, cohesión y resistencia interna al corte.

La viscosidad viene dada por la fricción entre las capas de la pasta de cemento, la cohesión es la fuerza de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, y la resistencia interna al corte la provee la habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta.

e. Segregación

Las diferencia de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación.

f. Exudación

Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos

Este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado. La exudación puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla, de un exceso de agua en la misma, de la utilización de aditivos, y de la temperatura, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación.

El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N° 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

g. Contracción

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia.

La pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla.

h. Peso unitario

El peso unitario es la cantidad de mezcla consolidada de una muestra representativa, que se requiere para llenar un recipiente de volumen unitario y se expresa en Kg/m³.

La naturaleza y tamaño máximo del agregado, influyen en la obtención de concreto, densos, normales y livianos.

Un incremento en el contenido de aire (incorporado o atrapado), hará que disminuya tanto el peso unitario como la densidad.

En concretos preparados con agregados normales, el peso unitario varía de 2,300 a 2,400 Kg/m³.

En concretos preparados con agregados livianos, generalmente tienen un peso unitario que varía desde 400 a 1,700 Kg/m³.

Para concretos de alta resistencia, en los cuales el tamaño máximo del agregado varía de 3/8" a 1/2", el valor de su peso unitario se encuentra alrededor de los 2,300 Kg/m³.

Los concretos ciclópeos, cuyo tamaño máximo del agregado varía de 3" a 6', suelen alcanzar un peso unitario de hasta 2,500 Kg/m³.

2.2.2.3. Propiedades principales del concreto endurecido⁵

a. Elasticidad

Capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material elástico estrictamente hablando, ya que no tiene un comportamiento lineal, sin embargo, convencionalmente se acostumbra definir un "Módulo de elasticidad estático" del concreto mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido que normalmente es un % de la tensión última.

Los módulos de Elasticidad normales oscilan entre 250,000 a 350,000 kg/cm² y están en relación inversa con la relación Agua/material cementante.

Conceptualmente, las mezclas más ricas tienen módulos de Elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres.

b. Resistencia

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

⁵ Pasquel Carbajal, Enrique. 1993. *Temas en tecnología del concreto en el Perú*. Lima - Perú.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/material cementante en peso.

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, junto a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

c. Durabilidad

Capacidad del concreto para resistir las condiciones, para las cuales se ha proyectado, sin deteriorarse con el tiempo. Esta propiedad es tan importante como la resistencia mecánica, especialmente cuando el concreto se halla expuesto al ataque severo de los agentes exteriores.

La falta de durabilidad puede ser originada por:

- ✓ Reacción de álcalis-agregado, Cambios de volumen, debido a las diferencias térmicas del agregado y la pasta de cemento y, principalmente a la permeabilidad del concreto. Factor éste que determina en gran medida la vulnerabilidad del concreto ante los agentes externos, razón por la cual, un concreto durable deberá ser relativamente impermeable.
- ✓ Las causas físicas, químicas o mecánicas; que pueden ser originadas por condiciones atmosféricas, temperaturas extremas, abrasión, ataques por líquidos y gases de origen natural o industrial, acción electrolítica, etc.

d. Porosidad

Los espacios vacíos presentes en el concreto se agrupan de la siguiente manera.

- Porosidad por aire atrapado.

Los vacíos de aire atrapado que se presentan en la masa de concreto, se originan durante su mezclado y colocación, son parte inevitable y perjudicial de éste. Tienen forma irregular, y en tamaño pueden variar desde aquellos imperceptibles al ojo humano hasta aquellos con un diámetro mayor de 1.5 cm, su tendencia a retener el agua es muy baja.

Estos vacíos son más abundantes en mezclas pobres y normalmente se presentan en el orden de 1% como mínimo

- Porosidad por aire incorporado

Son espacios vacíos que se adicionan intencionalmente al concreto mediante el empleo de algún aditivo incorporador de aire. Generalmente son de forma esférica, cuyo diámetro promedio varía entre 0.08 y 0.10 mm, ocupando de esta manera un rango de tamaños intermedios entre los poros capilares y los poros gel.

Este tipo de burbujas se encuentran distribuidas de manera homogénea y estrechamente separadas. Su influencia es decisiva en la protección del concreto durante los procesos de congelamiento y deshielo.

Estos vacíos se desarrollan mejor en mezclas que contienen agregado fino bien graduado y pueden llegar a representar el 5% o más del volumen del concreto.

- Poros capilares

Son cavidades constituidas por los residuos de los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, y que no han sido llenados por los productos de hidratación. Estos poros no pueden ser vistos directamente, pero su tamaño se estima alrededor de 1.3 u.m., y son de forma variable y tienen mayor afinidad con el agua.

La porosidad capilar de una pasta depende tanto de la relación agua-material cementante de la mezcla, como del grado de hidratación. La interconexión de dichos poros es la causa principal de la permeabilidad de la pasta de cemento endurecido, y de su vulnerabilidad a las heladas.

Se puede manifestar entonces que, la resistencia mecánica de la pasta endurecida se verá disminuida conforme aumenta el número de poros capilares.

- Poros gel

Son espacios intersticiales interconectados entre las partículas del gel cemento y pueden comúnmente estar llenos de agua. Estos espacios son mucho más pequeños que los capilares, tal es así, que el agua en ellos contenido no congela, y está tan firmemente fijada que no se evaporaría bajo las más severas condiciones de secado. Su diámetro oscila entre 0.015 u.m. y 0.020 u.m.

Los poros gel ocupan alrededor de un 28% del volumen total del gel de cemento hidratado.

2.2.3. Diseño de mezcla de concreto

2.2.3.1 Método Experimental Volumétrico (Método Empírico):

Método basado en la experiencia de escoger diversas dosificaciones y derivar la resistencia requerida según los resultados respectivos.

Siempre que sea posible, la dosificación del concreto deberá basarse en datos obtenidos de experiencias en laboratorio, en las cuales han sido utilizadas los materiales a ser empleados en obra, si esta información es limitada, será útil la siguiente información de materiales disponibles:

- Análisis Granulométrico del agregado fino y grueso.
- Peso unitario de los agregados.
- Peso específico de masa, porcentajes de absorción y humedad de los agregados a utilizarse.
- Tipo y marca del cemento Portland escogido.
- Peso específico del cemento Portland.
- Requerimientos de agua de mezclado, en base a experiencias con los agregados disponibles.
- Relaciones entre la resistencia y la relación agua cemento, para las combinaciones posibles de cemento y agregados.
- Resistencia a la compresión.

2.2.3.2 Procedimiento:

Selección de dosificación:

Se elige de dos a más dosificaciones aleatorias: 1:4; 1:3.5; 1:4.5, etc. (cemento/ agregado fino).

Selección de la consistencia:

Se elige el revenimiento de la mezcla a ser diseñada. Utilizando el cono de Abrahms se prueba consistencias y se torna a seleccionar un valor adecuado en el índice de agua para el determinado trabajo que se va a realizar.

Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

Realizada las dosificaciones de prueba se realiza su curado, fraguado y ensayo a la compresión a los 7, 14 y 28 días respectivos. Se referencia las resistencias resultantes y con esos datos es posible encontrar una dosificación adecuada a la resistencia requerida con los métodos de interpolación o extrapolación de datos, según dosificación.

2.2.4. Pavimentos articulados.

2.2.4.1. Bloques de concreto⁶ (CE. 010 – Pavimentos Urbanos, NTP 399.611)

Los bloques de concreto son elementos macizos, prefabricados, de espesor uniforme e iguales entre sí, con forma de prismas por lo general recto tal que al colocarlos sobre una superficie encajen unos con otros, de manera que solamente queden juntas entre ellos.

El espesor es de 6 cm para pavimentos de tráfico liviano y de 8 cm para calles, patios industriales, muelles y aeropuertos.

La transmisión de esfuerzos entre bloques que se da por la trabazón horizontal, rotacional y vertical entre ellos, evita desplazamientos de los bloques respecto a sus colindantes, ayuda también a la distribución de los esfuerzos de las capas superficiales a las capas internas, de forma tal, que las presiones en estas últimas sean menores. Para lograr este efecto todo embloquetado debe estar confinado con elementos de borde tales como los bordes prefabricados de concreto o vaciados insitu.

a. Capas de Pavimento embloquetado: Los espesores de las capas dependen del tránsito que va a soportar el pavimento, de la dureza del suelo y de los materiales con que se van a construir estas capas; y deben tener la suficiente calidad para que el pavimento soporte el peso del tránsito, durante un tiempo determinado, sin deformarse ni deteriorarse. El tránsito, que va a circular por la vía durante el período de diseño, la dureza del suelo y la calidad de los materiales disponibles, definen el espesor de la capa del pavimento. Son:

⁶ Instituto del Cemento Portland Argentino,. 2014. *Construcción de Pavimentos de Adoquines*. <http://www.icpa.org.ar/publico/files/pavadoq.pdf>. Buenos Aires - Argentina

Capa del bloque: Los bloques tiene un espesor de 8 cm para todo tráfico peatonal, animal o vehicular corriente.

Capa de arena: Esta capa se construye de 4 cm de espesor, con arena suelta, gruesa y limpia, la cual no se compacta antes de colocar los adoquines sobre ellas.

La base: El espesor de la base depende del material con que se construya, del tránsito y de la calidad del suelo. Se determinan los espesores de base según la categoría del suelo, el tipo de tránsito y el material disponible.

b. Requisitos de los materiales:

En los pavimentos de bloques intertrabados (Adoquines) de Concreto de Cemento Portland. Estos materiales deberán cumplir los requisitos indicados en las siguientes Tablas: (Imagen 04 – Anexos)

Granulometría de la Arena de Cama
[NTP 400.037]

MALLA	% PASA
3/8"	100
N° 4	95 - 100
N° 8	80 - 100
N° 16	50 - 80
N° 30	25 - 60
N° 50	05 - 30
N° 100	00 - 10

Granulometría de la Arena de Sello
[NTP 400.011]

MALLA	% PASA
N° 4	100
N° 8	95 - 100
N° 16	70 - 100
N° 30	40 - 75
N° 50	10 - 35
N° 100	02 - 15
N° 200	00 - 05

Adoquines – Requisitos
[NTP 399.611]

TIPO	USO
I	Adoquines para pavimentos de uso peatonal
II	Adoquines para pavimentos de tránsito vehicular ligero
III	Adoquines para tránsito vehicular pesado, patios industriales y de contenedores

Requisitos mínimos:

- **Subrasante:**

95% de compactación

Suelos granulares – Próctor modificado

Suelos Cohesivos - Próctor Estándar

Espesor compactado

250 mm – Vías locales y colectoras

300 mm – Vías arteriales y expresas

- **Subbase:** CBR: 30 %

- **Base:** CBR: 80%

- **Cama de apoyo:**

Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.

- **Espesor de la capa de rodadura:**

Vías locales: 60 mm

Vías colectoras: 80 mm

- **Material:** $f'c$ 380 Kg/cm² (38 MPa)

Requisitos de materiales:

De la Sub-Base: Estos materiales deberán cumplir los requisitos mínimos establecidos en la siguiente tabla:

Requerimientos de Calidad para Sub-base Granular

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		< 3000 msnmm	≥ 3000 msnmm
Abrasión Los Angeles	NTP 400.019:2002	50 % máximo	
CBR de laboratorio	NTP 339.145:1999	30-40 % mínimo*	
Límite Líquido	NTP 339.129:1998	25% máximo	
Índice de Plasticidad	NTP 339.129:1998	6% máximo	4% máximo
Equivalente de Arena	NTP 339.146:2000	25% mínimo	35% mínimo
Sales Solubles Totales	NTP 339.152:2002	1% máximo	

De la Base: Estos materiales deberán cumplir los requisitos de gradación establecidos en la siguiente Tabla:

Requerimientos del Agregado Fino de Base Granular

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< 3000 msnmm	> 3000 msnmm
Índice Plástico	NTP 339.129:1998	4% máximo	2% máximo
Equivalente de arena	NTP 339.146:2000	35% mínimo	45% mínimo
Sales solubles	NTP 339.152:2002	0,5% máximo	
Índice de durabilidad	MTC E – 214 (1999)	35% mínimo	

c. Materiales, forma y tamaño de los bloques articulados:

Son elementos macizos, de concreto, prefabricados, con paredes verticales, que ajustan bien unos contra otros, para formar una superficie completa, dejando sólo una junta entre ellos, y que sirven como capa de rodadura o superficie para los pavimentos que llevan su nombre. En un adoquín. Se distinguen los siguientes elementos:

- **Cara superior** (o superficie de desgaste) sobre la cual circula el tránsito y que define la forma del bloque.
- **Cara inferior**, igual a la superior, sobre la que se apoya en la capa de arena.
- **Caras laterales o paredes**, curvas o rectas, pero verticales y sin llaves, que conforman el volumen y determinan el espesor.
- **Aristas** o bordes donde empalman dos caras o los quiebres de la cara lateral.
- **Bisel**. Es un chaflán o plano inclinado en las aristas o bordes de la cara superior que se puede o no hacer en el momento de la fabricación. No debe tener más de 1 cm de ancho y no es indispensable, pero mejora la apariencia, facilita su manejo y contribuye al llenado de la junta.
- **Espesor**. Se fabrican embloquetados en espesores de 6 cm para tránsito peatonal y vehicular liviano; de 8 cm para vías de tránsito medio y pesado (inclusive aeropuertos) y de 10 cm para tránsito muy pesado (patios de carga y puertos, etc.) (ICPA)

d. Utilidad de los pavimentos articulados de concreto⁷

Los pavimentos articulados de concreto tienen un rango de aplicación casi tan amplio como el de los otros tipos de pavimentos.

Se pueden utilizar en veredas, zonas peatonales y plazas, donde el tráfico es básicamente peatonal; en vías internas de urbanizaciones, calles y avenidas, con tráfico vehicular que puede ir desde unos cuantos vehículos livianos, hasta gran número de vehículos pesados; en zonas de carga, patios de puertos, plataformas de aeropuertos y zonas donde se tienen cargas muy altas e inclusive tráfico de vehículos montados sobre orugas.

Este rango amplio de aplicaciones implica la necesidad de formular diseños diferentes para la estructura del pavimento según el tipo de tráfico que va a soportar y las características del suelo sobre el cual se va a construir, con variaciones en el espesor de los adoquines y en el material y espesor de la base. Este diseño se puede elaborar con métodos apropiados que garantizan el buen desempeño y durabilidad del pavimento, lo que se refuerza con unos adecuados procedimientos y controles durante la construcción.

e. Ventajas ofrecen los pavimentos embloquetados

Estos pavimentos poseen unas características particulares que se traducen en ventajas, sobre los otros tipos de pavimento, en varios aspectos específicos:

e.1. Ventajas debidas al proceso de construcción:

En adoquines que conforman la capa de rodadura son elementos prefabricados que llegan listos al lugar de la obra; por lo tanto su calidad se controla en fábrica. La construcción de la capa de rodadura involucra, además de la colocación de los adoquines, el llenado de las juntas y la compactación de la capa terminada. Sin embargo el de adoquines es un pavimento de muy fácil terminado, donde no intervienen procesos térmicos ni químicos, ni períodos de espera.

⁷ M., Germán Guillermo Madrid. 2014. «Ventajas y aplicaciones de los pavimentos de adoquines de concreto.» *Arqcon*. 1 de setiembre 2014.
<http://www.arqcon.com.ar/pprof/Aadh/pppavhormigon1.htm#top>.

Debido a la sencillez del proceso constructivo, toda la estructura del pavimento se puede construir y dar al servicio en un mismo día, por lo cual las interrupciones en el tráfico son mínimas y se logran economías en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales; además, como se trabaja con pequeñas zonas a la vez, cualquier área se puede adoquinar por etapas con lo cual no se altera ninguna economía de escala, cosa que sí ocurriría con otros tipos de pavimento; esto resulta especialmente útil para la pavimentación de unas cuantas vías cuando no se dispone de los recursos completos para acometer un plan a gran escala; se puede, por lo tanto, adoquinar en varias etapas, a medida que se vayan produciendo las piezas o se obtengan los recursos.

Como los adoquines son piezas pequeñas que no están unidas rígidamente unas con otras el pavimento de adoquines se adapta a cualquier variación en el alineamiento horizontal o vertical de la vía sin necesidad de elaborar juntas de construcción.

e.2. Ventajas debidas al manejo del pavimento:

La capa de rodadura es quizá el elemento más costoso de cualquier pavimento. Cuando se presenta una falla en los pavimentos o cuando hay que instalar o reparar las redes de servicios que van enterrados por la vía es indispensable retirar, y con esto destruir, las distintas capas del pavimento. Cuando se tiene un pavimento de adoquines la capa de rodadura es recuperable, pues como no van pegados unos con otros se pueden retirar y almacenar ordenadamente para reutilizarlos luego, en el mismo o en otro lugar, para la construcción de un nuevo pavimento. Esta propiedad es la que hace que el pavimento de adoquines sea especial, pues se puede reparar fácilmente y por lo tanto resulta ideal para pavimentar aquellas vías que aún no tengan completas las redes de servicios.

El mantenimiento de los pavimentos de adoquines es muy simple. Además de la reparación de las zonas que por problemas constructivos puedan presentar algún hundimiento, el pavimento de adoquines sólo requiere que se le retire la vegetación que pueda aparecer dentro de las juntas, en aquellas zonas abandonadas o por donde no exista tráfico permanente, y del llenado, mediante

barrido de arena fina, de las juntas que se hayan vaciado. Nunca requiere de sobrecapas para mantener un buen nivel de servicio.

e.3. Ventajas debidas a su apariencia:

Por estar conformado por muchas piezas iguales el pavimento de adoquines induce un cierto sentido de orden en la vía. Además la existencia de las juntas entre los adoquines elimina la monotonía que presenta la superficie continua de los otros pavimentos.

Los adoquines se pueden fabricar de diferentes colores, adicionando colorantes minerales a la mezcla y utilizando cemento gris o cemento blanco. Con algunos adoquines de color diferente al del resto, se pueden incorporar en la superficie del pavimento señales y demarcaciones tan duraderas como éste, pero que a la vez pueden ser removidas fácilmente; se pueden colorear zonas para diferenciar su utilización o incorporar dibujos decorativos.

e.4. Ventajas relativas a la seguridad:

Los pavimentos de adoquines se prestan para incorporar señales, o se pueden colocar en medio de otros pavimentos sirviendo como zonas de aviso para disminución de velocidad o zonas permanentes de velocidad restringida.

Además, por su rugosidad, los pavimentos de adoquines tienen una distancia de frenada menor que otros tipos de pavimentos, lo que se traduce en seguridad tanto para los peatones como para quienes se desplazan en los vehículos.

e.5. Ventajas relativas a la durabilidad:

La calidad que se le exige a los adoquines de concreto garantiza su durabilidad, de manera que sean resistentes a la abrasión del tráfico de llantas, a la acción de la intemperie y al derrame de combustibles y aceites, lo que los hace ideales para la pavimentación de estacionamientos, estaciones de servicio, patios industriales, etc.

Un adoquín, como tal, tiene una vida casi ilimitada. Aunque la estructura del pavimento puede sufrir algún deterioro después de estar en servicio por 20 o más años, con una reparación menor el pavimento de adoquines puede alcanzar una

vida útil de 40 años y los adoquines estar todavía en condiciones de servir por muchos más.

e.6. Ventajas relativas al costo de construcción:

La construcción de un pavimento de adoquines no requiere de mano de obra especializada.

Para la fabricación de los adoquines y para la compactación del pavimento se utiliza maquinaria de la cual existe producción nacional de buena calidad y rendimiento.

Los materiales que se requieren para su construcción se consiguen en cualquier lugar del país y no consume derivados del petróleo.

La competencia con otros tipos de pavimentos, desde el punto de vista de los costos, se debe plantear siempre, entre alternativas equivalentes, para unas determinadas condiciones locales de precios y disponibilidad de materiales y servicios. Nunca se debe generalizar.

El pavimento de adoquines de concreto, en la ciudad, resulta especialmente competitivo en vías de tráfico liviano y medio, donde pueden tener un costo inicial similar o inferior al de un pavimento equivalente de asfalto, aun sin tener en cuenta las ventajas adicionales ya enumeradas para el pavimento de adoquines; en un centro urbano pequeño o en zonas semirurales y rurales su costo es por lo general muy inferior al de otros tipos de pavimento.

Toda labor, desde la fabricación de los adoquines hasta el terminado del pavimento, puede incorporar gran cantidad de recursos comunitarios y mano de obra local. Esta hace que sea realmente económica en planes de acción comunal o patrocinada por entidades de fomento.

f. Algunos limitantes que presentan los pavimentos articulados:

De la misma manera que con los otros tipos de pavimentos, la estructura del pavimento articulado se debe apartar del nivel freático del terreno.

Si la capa de boques queda bien colocada, sellada y compactada no debe perder su sello y su estabilidad ante la caída de lluvias, por copiosas que estas sean; pero

nunca se debe poner a trabajar un pavimento de adoquines como canal colector de aguas, que pueda llegar a soportar corrientes voluminosas y rápidas tipo "arroyo".

Los pavimentos articulados nunca se deben someter a la acción de un chorro de agua a presión. Si esto se hace intencionalmente puede ocasionar la pérdida del sello de las juntas, por lo cual no se recomienda para zonas de lavado de automóviles.

Por estar compuesto por un gran número de piezas, el tráfico sobre un pavimento de adoquines genera más ruido que sobre los otros tipos de pavimentos, e induce mayor vibración al vehículo; por estas razones no es aconsejable para velocidades superiores a los 80 km/hora.

En las zonas del pavimento en adoquines que presenten tráfico muy bajo, es común que aparezca el crecimiento de material vegetal entre los adoquines. Este material vegetal no afecta para nada la estabilidad del pavimento pero si daña su aspecto estético. Causas: La principal causa de este problema es el poco tráfico sobre la zona, lo cual permite el crecimiento natural de hierbas o maleza sobre la arena de sellamiento entre los adoquines, y la falta de mantenimiento estético del pavimento como muestra la imagen 05 de los anexos.

Lo expuesto anteriormente refleja la versatilidad, bondad y economía de la pavimentación articulada. La gran acogida que ha tenido este diseño de pavimentación durante los últimos años en ciudades y poblaciones peruanas y los resultados arrojados por los planes promovidos por diversas entidades, con innegables beneficios socio-económicos, son ejemplos más que suficientes, sobre los cuales se puede medir el verdadero alcance de la pavimentación de adoquines como generadora de bienestar para la comunidad.

2.2.5. Fallas en pavimentos⁸:

La mejor forma de identificar las fallas del pavimento y determinar porqué se han producido, es mediante la conducción de un estudio de reconocimiento deseablemente una vez al año. En él se debe identificar el tipo, severidad y magnitud de cada falla. También se debe tratar de determinar si el diseño del pavimento, la carga soportada, el agua, la temperatura, los materiales del pavimento o la construcción fueron la causa de la falla. A demás de la inspección visual, pueden emplearse pruebas destructivas y no-destructivas para determinar la condición estructural y las condiciones del material bajo la superficie del pavimento.

Los diferentes tipos de daños que puede presentar un pavimento rígido (enfoque de la investigación), los cuales se agrupan en cuatro categorías generales:

- Juntas.
- Fisuras y grietas.
- Deterioro superficial.
- Otros deterioros.

Cada uno de los daños correspondientes a cada categoría se describe a continuación, presentando su definición y sus posibles causas. Las fotografías relacionadas con cada tipo de daño, se presentan a medida que se describe cada uno de ellos.

2.2.5.1. Fallas en juntas.

a. Deficiencias del Sellado:

Se refiere a cualquier condición que posibilite la acumulación de material en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando que se produzcan fallas, como levantamiento o despostillamiento de juntas. (Imagen 06 – Anexos)

Posibles causas: Las causas más frecuentes para que el material de sello sea deficiente, son:

- Endurecimiento por oxidación del material de sello.
- Pérdida de adherencia con los bordes de las losas.

⁸ .Kauffmann, ing. Luis F. Altamirano. 2007. *Metodología de medición, posibles causas de deterioro y Reparaciones*. Lima - Perú: UNI.

- Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas.
- Escasez o ausencia del material de sello.
- Material de sello inadecuado.

b. Juntas saltadas:

Rotura, fracturación o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.50 metros de una junta o una esquina y generalmente no se extiende más allá de esa distancia. Además no se extiende verticalmente a través de la losa sino que intersectan la junta en ángulo. (Imagen 07 – Anexos)

Posibles causas: Los despostillamientos se producen como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente, excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles; debilidad del concreto en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta, deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta, acumulación de agua a nivel de las juntas.

c. Separación de la junta longitudinal.

Corresponde a una abertura de la junta longitudinal del pavimento. Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimentos rígidos. (Imagen 08 – Anexos)

Posibles causas:

- Contracción o expansión diferencial de losas debido a la ausencia de barras de anclajes entre carriles adyacentes.
- Desplazamiento lateral de las losas motivado por un revenimiento diferencial en la subrasante.
- Ausencia de bermas.

d. Fisura inducida de la junta.

Se incluyen bajo esta denominación un conjunto de fisuras de forma errática cuyo desarrollo en el pavimento es indicado por factores relativos a una inadecuada distribución de juntas o inapropiada inserción de estructuras u otros elementos dentro de las losas. (Imagen 09 – Anexos)

Posibles causas: Cuando el arreglo de juntas en un carril no es respetado en el carril contiguo, es muy probable que induzcan o reflejen en éste, fisuras que den continuidad a las juntas existentes. Esta situación se presenta también con frecuencia cuando se ejecutan parchados y el diseño de sus bordes o juntas, sus dimensionamientos o inclusive distancias mínimas o juntas existentes, no son respetados; eventualmente este fisuramiento puede continuar subdividiendo los planos resultantes identificándose este caso particularmente como "Fisuras en Bloques"

Fisuras alrededor de estructuras pueden inducirse cuando no se proveen elementos de aislamiento que eviten restricción en el movimiento de las losas.

2.2.5.2. Fallas por fisuras o grietas:

a. Grietas de esquina:

Es una fisura que intersecta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa. (Imagen 10 – Anexos)

Posibles Causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga del concreto) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.

b. Grietas Longitudinales.

Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos. (Imagen 11 – Anexos)

Posibles causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales. Con frecuencia la ausencia de juntas longitudinales y/o losas, con relación ancho / longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.

c. Grietas transversales.

Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, o en forma oblicua a este, dividiendo la misma en dos planos. (Imagen 12 – Anexos)

Posibles Causas: Son causadas por una combinación de los siguientes factores: excesivas repeticiones de cargas pesadas (fatiga), deficiente apoyo de las losas, asentamientos de la fundación, excesiva relación longitud / ancho de la losa o deficiencias en la ejecución de éstas. La ausencia de juntas transversales o bien losas con una relación longitud / ancho excesivos, conducen a fisuras transversales o diagonales, regularmente distribuidas o próximas al centro de las losas, respectivamente. Variaciones significativas en el espesor de las losas provocan también fisuras transversales.

d. Fragmentación múltiple.

Fracturamiento de la losa de concreto conformando una malla amplia, combinando fisuras longitudinales, transversales y/o diagonales, subdividiendo la losa en cuatro o más planos. (Imagen 13 – Anexos)

Posibles causas: Son originadas por la fatiga del concreto, provocadas por la repetición de elevadas cargas de tránsito y/o deficiente soporte de la fundación, que se traducen en una capacidad de soporte deficiente de la losa.

2.2.5.3. Fallas por deterioro superficial.

a. Fisuramiento por retracción (tipo malla).

Es la rotura de la superficie de la losa hasta una profundidad del orden de 5 a 15 mm, por desprendimiento de pequeños trozos de concreto. Por fisuras capilares se refiere a una malla o red de fisuras superficiales muy finas, que se extiende solo a la superficie del concreto. Las mismas que tienden a intersectarse en ángulos de 120°. (Imagen 14 – Anexos)

Posibles causas: Las fisuras capilares generalmente son consecuencia de un exceso de acabado del concreto fresco colocado, produciendo la exudación del mortero y agua, dando lugar a que la superficie del concreto resulte muy débil frente a la

retracción. Las fisuras capilares pueden evolucionar en muchos casos por efecto del tránsito, dando origen al descascaramiento de la superficie, posibilitando un desconchado que progresa tanto en profundidad como en área. También pueden observarse manifestaciones de descascaramiento en pavimentos de concreto armado, cuando las armaduras se colocan muy próximas a la superficie.

b. Desintegración.

Progresiva desintegración de la superficie del pavimento por pérdida de material fino desprendido de matriz arena cemento del concreto, provocando una superficie de rodamiento rugosa y eventualmente pequeñas cavidades. (Imagen 15 – Anexos)

Posibles causas: Son causadas por el efecto abrasivo del tránsito sobre concretos de pobre calidad, ya sea por el empleo de dosificaciones inadecuadas (bajo contenido de cemento, exceso de agua, agregados de inapropiada granulometría), o bien por deficiencias durante su ejecución (segregación de la mezcla, insuficiente densificación, curado defectuoso, etc.)

c. Hundimiento.

Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo; puede estar acompañado de un fisuramiento significativo, debido al asentamiento del pavimento. (Imagen 16 – Anexos)

Posibles causas: Este tipo de deformación permanente del pavimento, con o sin agrietamiento puede ocurrir cuando se producen asentamiento o consolidación en la subrasante, por ejemplo, en terraplenes cuando existen condiciones muy desfavorables para la fundación, o bien en zonas contiguas a una estructura de drenaje o de retención donde puede ocurrir el asentamiento del material de relleno por deficiente compactación inicial o bien por movimiento de la propia estructura. También pueden ser originadas por deficiencias durante el proceso de construcción de las losas.

d. Baches

Descomposición o desintegración la losa de concreto y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares. (Imagen 17 – Anexos)

Posibles causas: Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.

2.2.5.4. Fallas por otros deterioros

a. Levantamiento localizado

Sobre-elevación abrupta de la superficie del pavimento, localizada generalmente en zonas contiguas a una junta o fisura transversal. (Imagen 18 – Anexos)

Posibles causas: Son causadas por falta de libertad de expansión de las losas de concreto, las mismas que ocurren mayormente en la proximidad de las juntas transversales. La restricción a la expansión de las losas puede originar fuerzas de compresión considerables sobre el plano de la junta. Cuando estas fuerzas no son completamente perpendiculares al plano de la junta o son excéntricas a la sección de la misma, pueden ocasionar el levantamiento de las losas contiguas a las juntas, acompañados generalmente por la rotura de estas losas.

b. Escalonamiento de juntas y grietas.

Es una falla provocada por el tránsito en la que una losa del pavimento a un lado de una junta presenta un desnivel con respecto a una losa vecina, también puede manifestarse en correspondencia con fisuras. (Imagen 19 – Anexos)

Posibles causas: Es el resultado en parte del ascenso a través de la junta o grieta del material suelto proveniente de la capa inferior de la losa (en sentido de la circulación del tránsito) como también por depresión del extremo de la losa posterior, al disminuir el soporte de la fundación. Son manifestaciones del fenómeno de bombeo, cambios de volumen que sufren los suelos bajo la losa de concreto y de una deficiente transferencia de carga entre juntas.

c. Descenso de la berma.

Diferencia de nivel entre la superficie de la losa respecto a la superficie de la berma, ocurre cuando alguna de las bermas sufre asentamientos. (Imagen 20 – Anexos)

Posibles causas: Las principales causas del descenso de berma son:

- Asentamiento de la berma por compactación insuficiente.
- En bermas no revestidas: por la acción del tráfico o erosión de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hasta el borde exterior de la losa.
- Inestabilidad de la banca.

d. Separación entre berma y pavimento.

Incremento en la abertura de la junta longitudinal entre la berma y el pavimento. (Imagen 21 – Anexos)

Posibles causas: Las causas más probables de la separación entre berma y pavimento son:

- Compactación insuficiente en la cara lateral del pavimento.
- Escurrimiento de agua sobre la berma cuando existe un desnivel entre ella y el pavimento.

e. Parches deteriorados.

Un parche es un área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado, ya sea con un material similar o eventualmente diferente, para reparar el pavimento existente, también un parchado por reparación de servicios públicos es un parche que se ha ejecutado para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo. Los parchados disminuyen la servicialidad de la pista, al tiempo que pueden constituir indicadores, tanto de la intensidad de mantenimiento demandado por una carretera, como la necesidad de reforzar la estructura de la misma. En muchos casos, los parchados, por deficiente ejecución dan origen a nuevas fallas. (Imagen 22 – Anexos)

Posibles causas:

- En el caso de parches asfálticos, capacidad estructural insuficiente del parche o mala construcción del mismo.

- En reemplazo por nuevas losas de concreto de espesor similar al del pavimento existente, insuficiente traspaso de cargas en las juntas de contracción o mala construcción.
- En parches con concreto de pequeñas dimensiones, inferiores a una losa, retracción de fraguado del concreto del parche que lo despega del concreto antiguo.

f. Surgencia de finos.

Es la expulsión de finos a través de las juntas o fisuras, ésta expulsión (en presencia de agua) se presenta por la deflexión que sufre la losa ante el paso de cargas. Al expulsar agua esta arrastra partículas de grava, arena, arcillas o limos generando la pérdida del soporte de las losas de concreto. El bombeo se puede evidenciar por el material que aparece tanto en juntas y fisuras de la losa como en la superficie del pavimento. (Imagen 23 – Anexos)

Posibles causas:

- Presencia de agua superficial que penetra entre la base y la losa de concreto.
- Tráfico de vehículos pesados frecuente.
- Transmisión inadecuada de cargas entre losas.

2.2.6. Juntas⁹:

Las estructuras necesitan flexibilidad para soportar ciertos movimientos, generalmente horizontales, y que pueden ocasionar fallas dentro de las mismas. Para darle esta condición de flexibilidad es necesario utilizar lo que en construcción civil conocemos como juntas.

Las juntas no son más que cierto tipo de abertura o separación dentro del concreto creada con el único fin de evitar grietas dentro del mismo.

Estas aberturas o separaciones tienen ciertas condiciones de funcionamiento y diseño de acuerdo al trabajo que deban realizar.

⁹ Corral, José Toirac. 2004. *Patología De La Construcción, Grietas Y Fisuras En Obras De Hormigón, Origen Y Prevención*. Republica Dominicana: Instituto Tecnológico de Santo Domingo.

El concreto se expande y se contrae con los cambios de humedad y de temperatura. La tendencia general es contraerse y esto causa el agrietamiento a edad temprana. Las grietas irregulares son feas y difíciles de manejar, pero generalmente no afectan la integridad del concreto. Las juntas en las losas de concreto pueden ser creadas mediante moldes, herramientas, aserrado y con la colocación de formadores de juntas.

2.2.6.1. Tipos de juntas:

- a. **Juntas de contracción:** Pretenden crear planos débiles en el concreto y regular la ubicación de grietas que se formarán como resultado de cambios dimensionales.
- b. **Juntas de aislamiento o expansión:** Separan o aíslan las losas de otras partes de la estructura, tales como paredes, cimientos, o columnas, así como las vías de acceso y los patios, de las veredas, las losas de garaje, las escaleras, luminarias y otros puntos de restricción. Ellas permiten los movimientos independientes verticales y horizontales entre las partes adjuntas de la estructura y ayudan a minimizar las grietas cuando estos movimientos son restringidos.
- c. **Juntas de construcción:** Son superficies donde se encuentran dos vaciados (vertidos) sucesivos de concreto. Ellas se realizan por lo general al final del día de trabajo, pero pueden ser requeridas cuando el vaciado del concreto es paralizado por un tiempo mayor que el tiempo de fraguado inicial del concreto. En las losas ellas pueden ser diseñadas para permitir el movimiento y/o para transferir cargas, La ubicación de las juntas de construcción debe ser planificada. Puede ser deseable y lograr la adherencia y la continuidad del refuerzo a través de una junta de construcción. (Imagen 24 – Anexos)
- d. **Juntas de control:** Las juntas moldeadas húmedas se insertan mediante el uso de un ranurador para crear un plano de debilidad que oculta el lugar donde ocurrirá la grieta por contracción. Las juntas de control se deben hacer mientras el concreto se está endureciendo, haciendo el corte con una delgada pieza de metal. Los bordes de las juntas deben ser acabadas con una herramienta ranuradora o canteadora.

Alternativamente pueden hacerse en el colado o impresionar en el concreto un inductor de grietas.

Las juntas de control también pueden ser aserradas, pero es muy importante el tiempo oportuno. Si se hace demasiado temprano el corte con sierra puede desmoronar el concreto, y si se hace demasiado tarde, el concreto ya se habrá agrietado al azar.

Una junta puede rellenarse con un rellenedor flexible para minimizar la entrada de agua y para evitar que se introduzcan piedras u otras cosas, lo que más tarde puede causar astillamiento del concreto. (Imagen 25 – Anexos)

2.2.6.2. Motivo de la construcción de juntas¹⁰:

Las grietas en el concreto no se pueden prever completamente, pero pueden ser controladas y minimizadas mediante juntas adecuadamente diseñadas. El concreto se agrieta porque:

- El concreto es frágil frente a cargas de tracción y por lo tanto, si su tendencia natural a retraerse es restringida, pueden desarrollarse esfuerzos de tracción que excedan su resistencia a esta fuerza, dando como resultado el agrietamiento.
- A edades tempranas, antes de que el concreto se seque, la mayoría de las grietas son causadas por cambios de temperatura o por la ligera contracción que tienen lugar cuando el concreto fragua y endurece. Más tarde, cuando el concreto se seca, él se retraerá adicionalmente y cualquier grieta adicional puede formarse o las grietas preexistentes pueden hacerse más anchas.

Las juntas atenúan las tensiones de tracción, son fáciles de manejar y son menos objetables que las grietas descontroladas e irregulares¹¹.

2.2.6.3. Disposición de juntas:

El objetivo es “copiar” el patrón de fisuración que naturalmente desarrolla el pavimento en servicio mediante un adecuado diseño y ejecución de juntas transversales y

¹⁰ Maguiña Alzamora, Jose Eloy. s.f. «CivilGeeks.» Proyecto de investigación, Chimbote - Perú. <http://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>.

¹¹ Hills, Farmington. s.f. «Joints in Concrete Construction, » En *ACI 224.3R*, de American Concrete Institute. MI.

longitudinales, e incorporar en los mismos mecanismos apropiados para la transferencia de cargas. Un adecuado diseño de las juntas permitirá:

- Prevenir la formación de fisuras transversales y longitudinales.
- Proveer transferencia de carga adecuada.
- Permitir el movimiento de las losas contra estructuras fijas e intersecciones
- Dividir la construcción del pavimento en incrementos acordes a la tecnología empleada.

2.3. Marco Conceptual:

2.3.1. Concreto impreso: El concreto impreso es un tipo de pavimento de concreto al que se le aplica un tratamiento superficial mediante el diseño de estampar, texturar. En el caso de esta investigación esta referenciado a una plancha estampadora para juntas de contracción con el cual se adquiere la forma de textura deseada y que permiten hacer pavimentos resistentes, vistosos y duraderos. Puede ser impermeable y soportar el ataque de ácidos, manchas de grasa y aceite, además puede utilizarse en zonas muy castigadas por el tránsito, como veredas, parques, rampas, recintos, etc. Estos factores, sumados al casi nulo mantenimiento, explican que triunfe en las viviendas con jardín, desplazando a los pavimentos tradicionales.

2.3.2. Cemento Extraforte ICo: El cemento Extraforte ICo es un cemento de uso general recomendado para columnas, vigas, losas, cimentaciones y otras obras que no se encuentren en ambientes húmedos-salitrosos. Este cemento contiene adiciones especialmente seleccionadas y formuladas que le brindan buena resistencia a la compresión, mejor maleabilidad y moderado calor de hidratación.

Propiedades

Moderado calor de hidratación
Mejor trabajabilidad

Aplicaciones

Obras de concreto y de concreto armado en general
Morteros en general
Pavimentos y cimentaciones
Estructuras de concreto masivo

- 2.3.3. Adoquín:** Un adoquín (del árabe ad-dukkân, "piedra escuadrada"), es una piedra o bloque labrado de forma rectangular que se utiliza en la construcción de pavimentos. Los materiales más utilizados para su construcción han sido el granito, por su gran resistencia y facilidad para el tratamiento y, sobre todo, el basalto que a su dureza se le añade la mayor facilidad de corte¹².
- 2.3.4. Esponjamiento:** El esponjamiento del agregado fino es definido como el incremento de volumen de un peso dado del material debido a que la humedad superficial tiende a mantener las partículas separadas unas de otras. El esponjamiento del agregado fino debido a variaciones en su contenido de humedad significa modificaciones en el contenido del agregado para un peso dado o viceversa fuertes disminuciones en el peso del agregado para un volumen dado, así como un fuerte incremento en el porcentaje de vacíos.
- 2.3.5. Articulación:** Unión material de dos o más piezas de modo que por lo menos una de ellas mantenga alguna libertad de movimiento.
- 2.3.6. Retícula:** Conjunto de líneas o elementos dispuestos en forma de red.
- 2.3.7. Estampado:** Estampa, estampación o estampado es un proceso de impresión para obtener un diseño, que puede ser plano o en relieve.
- 2.3.8. Propiedad tecnológica:** El conjunto de características que hacen que el material se comporte de una manera determinada ante estímulos externos como la luz, el calor, las fuerzas, etc.

¹² *Diccionario Enciclopédico Salvat*, 1967, 12ª edición, tomo 2, p.545

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material de estudio:

3.1.1 Material experimental:

Las muestras están constituido por agregado fino y agregado grueso (Cantera del río Chonta – Cajamarca), Cemento Extraforte (Cemento Pacasmayo Tipo Ico), agua de la ciudad universitaria (Universidad Nacional de Cajamarca)

Los agregados, fueron extraídos del rio Chonta ubicado en el distrito de Baños del Inca en la provincia de Cajamarca del departamento de Cajamarca, la cantera tiene las siguientes características:

Norte:	7° 7' 22" de latitud sur.
Este:	78° 26' 58" de longitud oeste.
Altitud promedio:	2720 m.s.n.m. aprox.

3.1.2 Equipo experimental:

Los equipos experimentales fueron 2 estampadores metálicos electrosoldados de 40 cm x 40 cm x 8 cm y otro de 20 cm x 10 cm x 8 cm adecuando una textura de pavimentos adoquinados según sus medidas.

Marcos de madera para encofrado de 40 cm x 40 cm x 8 cm, encofrados de madera para muestras de 20 cm x 10 cm x 8 cm, plancha de acero galvanizado de 1/40" de 1,20 cm x 1,20 cm para base. (Imagen 26 – Anexos)

3.1.3 Equipo para las muestras

- Juego de tamices.
- Balanza con capacidad apropiada 30 Kg.
- Recipientes para pesar los materiales.
- Probeta graduada 1000 cm³.
- Herramientas: palana, badilejo, baldes, cucharón, enrasador.
- Cono de Abrahms.
- Varilla de Acero lizo de 60 cm. de largo y 5/8" de diámetro, semi-redondeado.
- Aceite para los moldes.
- Mezcladora de 2.5 pie³.

3.1.4 Material para la determinación de las características físicas de agregado:

3.1.4.1. Materiales

- Agregado fino de la Cantera del Río Chonta.

3.1.4.2. Equipo

- Juego de tamices conformados por: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, ¼" 3/8", ½".
- Estufa a temperatura constante de 110 ° C ± 5 ° C.
- Balanza, con sensibilidad de 0.5 gr. y capacidad no menor de 5 Kg.
- Barra compactadora de acero, circular, recta, de 5/8" de diámetro y 60 cm. de largo, con un extremo redondeado.
- Cono de Abrahms y plancha
- Balanza electrónica con aproximación adecuada.
- Probeta graduada.
- Herramientas: palanas, badilejo, balde, cucharón, enrazador, reglas graduadas, etc.
- Mezcladora.
- Prensa Hidráulica.
- Deflectómetro.

3.2 Metodología

3.2.1 Tipo de investigación

Según el objeto de estudio:

El presente trabajo, por el hecho de centrarse en el análisis de la naturaleza del comportamiento de un pavimento impreso usando referencias teóricas y normas técnicas, las condiciones metodológicas son de una **INVESTIGACIÓN APLICADA**

Según el método de estudio:

Se utilizaron conocimientos de las ciencias de la ingeniería y de acuerdo a la naturaleza del estudio por el cual se manipula las variables del diseño de mezcla para controlar el tipo de dosificación y su efecto en las conductas observadas de la investigación congrega por su nivel, las características de un **ESTUDIO EXPERIMENTAL**.

Estudio Experimental: En la investigación de enfoque experimental el investigador manipula una o más variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, un experimento consiste en hacer un cambio en el valor de una variable (variable independiente) y observar su efecto en otra variable (variable dependiente). Esto se lleva a cabo en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular. (Buyse, 1949)

3.2.2 Población de estudio:

Sumatoria de unidades de concreto estampado diversas a ensayar.

3.2.3 Muestra:

Muestreo no probabilístico de conveniencia:

36 especímenes del tipo B: El criterio es experimentar el producto matemático de 3 muestras, 3 dosificaciones, 2 tipos de consistencia de concreto, 2 tipos de tamaño máximo de agregado.

11 especímenes del tipo A: El criterio es el acomodo de muestras según carga de servicio.

3.2.4 Unidad de análisis:

Unidad A: Muestra estampada de 0.40 m x 0.40 m x 0.08 m

Unidad B: Muestra estampada de 0.10 m x 0.20 m x 0.08 m

Aplicación: Se realizó un estudio del comportamiento del estampado de pavimentos por medio de un impresor metálico articulado. La investigación da por resultado datos aún desconocidos o no explorados de manera científica.

3.2.5 Forma de análisis.

Análisis cualitativo para encontrar experimentando, el tamaño máximo y revenimiento apropiado para un estampado con el impresor metálico del estudio indicando la experiencia encontrada.

Tabla 01. Muestras según consistencia y tamaño máximo

Tamaño Máximo	Consistencia	Código de Muestra
3/4"	Seca	M1
	Plástica	M2
1/2"	Seca	M3
	Plástica	M4
3/8"	Seca	M5
	Plástica	M6
1/4"	Seca	M7
	Plástica	M8

Análisis experimental de resistencia a la compresión para diversas dosificaciones para 14 y 28 días de concreto curado.

Tabla 02. Dosificación para diversas edades y tamaños máximos

Dosificación para TM bueno			
Resistencia a la compresión	Dosificación 1*	Dosificación 2*	Dosificación 3*
14 días (kg/cm ²)	3 especímenes	3 especímenes	3 especímenes
28 días (kg/cm ²)	3 especímenes	3 especímenes	3 especímenes
Dosificación para TM Optimo			
Resistencia a la compresión	Dosificación 1*	Dosificación 2*	Dosificación 3*
14 días (kg/cm ²)	3 especímenes	3 especímenes	3 especímenes
28 días (kg/cm ²)	3 especímenes	3 especímenes	3 especímenes

(*) Especímenes de 10 cm x 20 cm x 8 cm

3.2.6 Etapas.

Primera etapa. Revisión bibliográfica, recopilación de datos o búsqueda de información, de todo lo referente al tema de investigación; que en el presente trabajo fueron libros de la especialidad, trabajos anteriores afines realizados en la Facultad de Ingeniería y páginas Web especializadas.

Segunda etapa. Extracción y transporte de los agregados, de la cantera seleccionada al laboratorio de ensayo de materiales de la U.N.C.

Tercera etapa. Experimentación, los cuales consistieron en la determinación de tamaño máximo del agregado y revenimiento requerido para un estampado, la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del agregado a usar; las cuales dio los datos necesarios para la elaboración del diseño de mezclas por el método experimental volumétrico.

Cuarta etapa: Elaboración de especímenes, la cual consistió en la producción y ejecución de los ensayos físicos y mecánicos de las muestras de concreto estampado.

Sexta etapa: Procesamiento y análisis de resultados, para determinar los datos finales de la investigación.

Séptima etapa. Discusión y Conclusiones, que es la etapa final de la investigación en la cual se define con precisión los resultados (deviene de la etapa anterior).

3.2.7 Técnicas.

Esta investigación se realizó a través de la aplicación de tablas, proporciones y procedimientos establecidos en las Normas Técnicas:

NTP 400.037- ASTM C136

Granulometría

NTP 400.022 - ASTM C128

Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.

NTP 339.185 - ASTM C566

Contenido de Humedad

NTP 400.017- ASTM C29

Agregados. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.

NTP 400.018 - ASTM C117

Material más fino que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (No. 200) por lavado en agregados.

NTP 339.035 – ASTM C143

Método de ensayo para la medición del revenimiento del concreto con el cono de Abrahms.

3.3 Procedimientos.

3.3.1. Procedimiento para la confección del estampador:

Se elaboró un diseño de estampado (Unidad de análisis A), con varillas de perfil laminado SIDERPERU debidamente electrosoldadas, un marco de perfil de “alas igual” o “L” y la parte central con perfil “T” de medidas 20 mm x 20 mm x 3 mm. (Especificaciones técnicas ver Anexos). El patrón tomado es un adoquín para tránsito liviano como se establece en la imagen 27.

También se diseñó un estampador pequeño de 10 cm x 20 cm para poder realizar las muestras de la Unidad de Análisis B, especificadas en la metodología de la investigación. (Imagen 28 – Anexos)

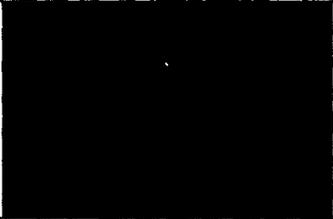
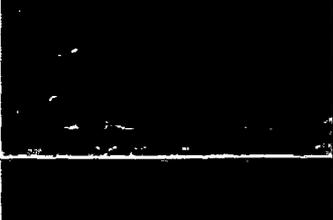
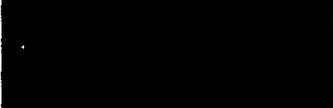
3.3.2. Procedimiento del estampado:

Se ubica la herramienta de impresión encima del encofrado que contendrá al concreto y se hace una ligera presión en la zona metálica de modo que no cause fatiga y que con tan solo un intento de impresión, la figura quede marcada en el concreto; y de este modo impregne el patrón del estampador. (Imagen 29 y 30 – Anexos)

3.2.1. Procedimiento del análisis cualitativo de tamaño máximo y revenimiento en diseño de mezcla:

Se realizó diferentes diseños de mezcla experimentales con una propuesta de dosificación volumétrica 1:2:2 (cemento, agregado fino, agregado grueso) para muestras con diversos tamaños máximos de agregados (3/4”, 1/2”, 3/8”, 1/4”) la cantidad de agua fue empírica usando en su conjunto el cono de Abrahms e implementos, hasta encontrar revenimientos seca, plástica y tomar detalles de su comportamiento para el estampado de pavimentos articulados.

Tabla 03. Experimentación cualitativa para un revenimiento y tamaño máximo adecuado

Tamaño Máximo	Consistencia	Condición de Estampado	Fotografía	Experimentación
3/4"	Seca	Malo		No aporta impresión, el acomodo del agregado grueso es dificultoso
	Plástica	Malo		No hay impresión definida, el agregado grueso dificulta el estampado
1/2"	Seca	Malo		Para el estampado del diseño se requirió mucha presión por las piedras que influyen en las zonas de estampado. Si la piedra está en un borde esta deforma la figura requerida y la daña.
	Plástica	Regular		Es posible hacer un estampado definido, se necesita poca fuerza en una muestra. Algunas piedras deforman los bordes. En una muestra de 8 piezas es dificultoso pues necesita mayor fuerza
3/8"	Seca	Bueno		Estampado definido, posibilidad de deformarse, el agregado de tamaño máximo puede deformar ligeramente los bordes. 8 piezas pueden ser estampadas fácilmente.
	Plástica	Bueno		Estampado definido, pequeña posibilidad de deformarse, el agregado de tamaño máximo puede deformar ligeramente los bordes. 8 piezas pueden ser estampadas fácilmente.
1/4"	Plástica Óptimo	Óptimo		Estampado definido, 8 piezas pueden ser estampadas fácilmente. Mejor acabado por el tamaño de las partículas del agregado.

3.2.2. Procedimiento de la prueba experimental para dosificación volumétrica:

Para esto se utilizó el método experimental volumétrico hasta encontrar una resistencia promedio de 210 Kg/cm², se experimentó con mezclas de concreto con Tamaño Máximo y Revenimiento deducidos en la prueba cualitativa del procedimiento 3.3.1 tomando los datos en condición de estampado bueno y plástica óptimo hallados en los ensayos que son 3/8" y 1/4" y se analizó su resistencia a la compresión en la prensa hidráulica.

La muestra de prueba impresa tienen un estándar de dimensiones de 8 cm x 10 cm x 20 cm, las resistencias a la compresión varían según las áreas de influencia.

3.2.3. Procedimiento del cálculo de resistencia a carga de las muestras tipo B:

De las muestras realizadas con el método experimental volumétrico se realizó 2 muestras para las dosificaciones buenas y óptima respectivamente y por muestra ensayada a los 14 días y 28 días de fabricación y curado en agua. Siendo un total de 36 muestras. Se encontró los siguientes resultados:

Tabla 04. Carga en Toneladas para Dosificación de Tamaño Máximo: 3/8"

Consistencia: Plástica			
Resistencia a carga	1:3.5:0.45	1:4:0.50	1:4.5:0.55
	Carga (Tn)	Carga (Tn)	Carga (Tn)
14 días	23	13.5	11
	25	14	12.5
	24.5	13,5	12
28 días	30	21.5	16
	32	22.5	13
	31.5	22	13.75

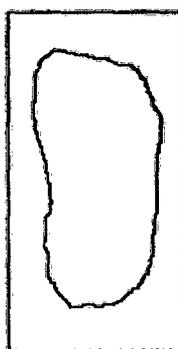
Tabla 05. Carga en Toneladas para Dosificación de Tamaño Máximo: 1/4"

Consistencia: Plástica óptimo			
Resistencia a la compresión	1:3.5:0.45	1:4:0.50	1:4.5:0.55
	Carga (Tn)	Carga (Tn)	Carga (Tn)
14 días	24.5	13.5	11
	25	14	12.5
	23	14	12
28 días	30	23	16
	35	24.5	18
	32	24.5	16.5

3.2.4. Procedimiento para el análisis del área de influencia de la carga aplicada en muestras:

Al aplicar el estampado con el diseño establecido en esta investigación, la presión ejercida crea un pequeño bombeo en la superficie, en la parte media de la muestra de estudio; es así como el área de influencia para una carga se enfoca en su parte central. (Imagen 31 – Anexos)

Para poder encontrar el esfuerzo a compresión requerido expresado en Kg/cm² es necesario tener un área específica de la unidad de muestra, el cual varía en el estampado. Se realizó para ello el impregnado de un jebe húmedo en la muestra sometida a carga y de este modo analizar un promedio del área de influencia de la compresión. (Imagen 32 – Anexos)



Muestra: C-1

Area de muestra: 196 cm² (100%)

Area de influencia: 88.1 cm² (44.95%)

Consistencia: Plástica

TM: 3/8"

Carga: 23 000 Kg

f'c: 261.06 Kg/cm²

En el diagrama (analizada con el software Autocad, comando sketch) y la fotografía se muestra la relación gráfica del área de influencia del estampado con sus especificaciones de la muestra. Del mismo modo se realizó para las 36 muestras ensayadas.

Luego de encontrar las resistencias a la compresión en las diferentes dosificaciones se puede encontrar por reglas de interpolación o extrapolación de datos una resistencia específica, que para el caso de la investigación es de 210 Kg/cm² a los 28 días. (Imagen 33 – Anexos)

3.2.5. Procedimiento para la prueba cronológica de durabilidad:

Utilizando el diseño de mezcla y dosificación para un estampado bueno y óptimo (tipo de método) a una resistencia requerida de 210 Kg/cm² se realizó especímenes de dimensiones 40 cm x 40 cm x 8 cm. Se tomaron 5 muestras respectivamente curadas de cada tipo, un total de 10 muestras y se las ubicó en mediaciones de la Av. Tarsicio Bazán Zegarra y Av. Integración en el camino hacia el laboratorio de ensayo de materiales de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca y se tomó nota de los diversos cambios ocurridos, por intemperismo, fisuras o grietas si las hubiese entre otros. (Imagen 34 y 35 – Anexos)

La muestras que fueron expuestas tienen más de 28 días de curado y fabricación, se las ubicó en la intersección de zona transitable por peatones y vehículos. Y se registró cualquier cambio que ocurriese en el pavimento con las respectivas condiciones en las que se encuentre. (Imagen 36 Anexos)

3.2.6. Procedimiento para la resistencia a carga de la muestra tipo A

- Se realizó con en el equipo de ensayos a escala natural. Expresando la primera falla por corte a 18 Tn de carga, la falla se forma en la secuencia de la junta de 3 mm impresa. (Imagen 37 Anexos)

No se prosiguió con este tipo de ensayo, ya que el equipo de prueba resiste 20 Tn como máximo. Y la falla por corte es arbitrario al patrón del pavimento estampado.

3.2.7. Procedimiento para la resistencia a flexión de la muestra:

Se realizó la prueba a flexión en la máquina universal de ensayos aplicando una carga en el eje de la muestra. La falla ocurrió con 1 Tn de esfuerzo aproximadamente, la grieta siguió el camino de la junta realizada por el estampado de forma ortogonal a la superficie. (Imagen 38 Anexos)

3.3.10. Procesamiento de la información.

Método de tabulación manual:

Se clasificó los datos obtenidos en los experimentos de tamaño máximo y revenimiento de concreto estampado.

Se hizo cálculos matemáticos de ensayos mecánicos en concreto y agregados según normas establecidas.

Método de tabulación manual mecánica:

Se hizo con el uso de calculadora, balanza, deflectómetro, equipo de ensayo universal, prensa hidráulica, equipo de ensayos a escala natural.

Método automatizado:

El procesamiento de datos se realizó en los paquetes informáticos: Microsoft Office, AutoCAD, Microsoft Picture Manager.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Tabla 06. Resultados de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas del agregado ensayado

Características Físicas Y Mecánicas	Agregado fino
Módulo de finura:	3.30
Peso específico de masa	2.61 g/cm ³
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	2.69 g/cm ³
Peso específico aparente	2.83 g/cm ³
Absorción	2.88 %
Contenido de humedad	4.5 %
Peso unitario suelto seco	1604.8 Kg/m ³
Peso unitario seco compactado	1676.7 Kg/m ³
Porcentaje que pasa el tamiz # 200	3.23 %
Peso unitario del concreto fresco	2344.52 Kg/m ³

4.1. Resultados de los ensayos a compresión de la muestra de tipo B:

En los diseños de mezcla de consistencia plástica y tamaño máximo de 3/8" se encontró las resistencias promedio para dosificación con un curado de 28 días:

Tabla 07. Resistencias a compresión según dosificación volumétrica

Dosificación volumétrica	Resistencia a compresión
1:3.5:0.45	349.81 Kg/cm ²
1:4.0:0.50	246.98 Kg/cm ²
1:4.5:0.55	157.01 Kg/cm ²

Interpolando datos se obtuvo la relación volumétrica para un concreto a estampar de consistencia plástica y tamaño máximo de 3/8" y una resistencia requerida de 210 kg/cm², la dosificación volumétrica de 1:4.2:0.52

En los diseños de mezcla de consistencia plástica óptima y tamaño máximo de 1/4" se encontró las resistencias promedio para dosificación con un curado de 28 días:

Tabla. Resistencias a compresión según dosificación volumétrica

Dosificación volumétrica	Resistencia a compresión
1:3.5:0.45	361.86 Kg/cm ²
1:4.0:0.50	261.30 Kg/cm ²
1:4.5:0.55	186.52 Kg/cm ²

Interpolando datos se obtuvo la relación volumétrica para un concreto a estampar de consistencia plástica óptima y tamaño máximo de 1/4" y una resistencia requerida de 210 kg/cm², la dosificación volumétrica de 1:4.3:0.53

Por aspectos de rendimiento en materiales se utilizó la dosificación 1:4.2:0.52 de consistencia plástica y tamaño máximo de 3/8" y una resistencia requerida de 210 kg/cm².

4.2. Proporcionamiento volumétrico: Diseño del concreto para un pavimento estampado de 210 Kg/cm²

Proporción en volumen:

$$1 : 4.2 : 0.52$$

4.3. Proporcionamiento en peso: Diseño del concreto para un pavimento estampado de 210 Kg/cm²

Proporción en peso de diseño:

$$1 : 4.49 : 0.593 \approx 1 : 4.5 : 0.6$$

4.4. Rendimiento por bolsa de cemento:

$$0.1126 \text{ m}^3$$

4.5. Cantidad de materiales de diseño por metro cubico de concreto:

Cemento = 365.5vKg; 8.6 bolsas

Agregado Fino = 1641.31 Kg

Agua Efectiva = 216.65 L

4.6. Resultado cronológico de durabilidad:

En 11 muestras estampadas expuesta a intemperie, cargas de servicio denoto un buen comportamiento. No hubo fisuramiento, grietas y despostillamiento en las zonas más vulnerables de las muestras, durante 6 meses de prueba.

El primer mes (febrero) se ubicó la muestra del tipo A (mayor dimensión) en mediaciones de la Av. Tarsicio Bazán Zegarra y Av. Integración en el camino hacia el laboratorio de ensayo de materiales de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca (Imagen 39,40 – Anexos)

En el cuarto mes (mayo) se observó qué la muestra seguía intacta, sin ninguna patología que demuestre desgaste o resquebrajamiento.

Sexto mes (julio) en las zonas de separación de las muestras creció vegetación creando apartamiento entre las juntas, de igual manera creo niveles diferenciales entre muestras, posiblemente por la entrada de agua. Las muestras del tipo A se mantuvieron intactas libres de patología alguna.

Un aspecto importante es que se mantuvo la forma del patrón requerido. En la aplicación como alternativa a los pavimentos articulados, y con una alta expresión estética este pavimento tiene un buen comportamiento estético, estructural y de trabajo.

4.7. Resultados de la resistencia a carga de la muestra tipo A:

Se realizó 2 ensayos, uno a comprensión del área superficial y otro aplicando una carga a lo largo del eje, ambos de las muestra de 40 cm x 40 x 8 cm. No se cuantificó las cargas de corte pues la resistencia que ofrece es muy variable y baja (menor a 0.5 Tn).

4.7.1. Compresión en la superficie:

Al ejercer la carga de 18 Tn en la superficie de 1600 cm² aproximadamente, el modo de rotura influye en falla por corte, siguiendo la ruta de la junta estampada (es lo que se desea), creada con el único fin de evitar grietas dentro del mismo.

Si se toma como eje la verticalidad de la fisura respecto a la superficie, los ángulos de corte oscilan entre 0-10 grados. Si el pavimento impreso fallase la forma de baldosa empezará a comportarse como un bloque y en su unidad mínima como un adoquín según el patrón establecido.

No se prosiguió con el ensayo por resistencia a compresión ya que el equipo tiene una máxima resistencia de 20 Tn y la muestra podría resistir mucho más por los resultados encontrados en la compresión de la muestra del Tipo B.

4.7.2. Compresión en el eje de la muestra:

Se ejerció una fuerza distribuida en la línea central de la zona más crítica de la muestra tipo A, su ruptura fue rápida con tan solo 1 Tn de carga. La zona de corte al igual que las pruebas anteriores formo una fisura de casi 90° como muestra la imagen 45. Si esto ocurriese en un pavimento estampado también empezará a comportarse como un bloque o adoquín si la falla es en la junta inducida según el patrón o figura. (Imagen 44 - Anexos)

4.8. Análisis de un pavimento estampado:

4.8.1. Estampado por losas:

Para la impregnación del diseño impreso en un pavimento tiene que permanecer en el índice de humedad calculado en el diseño, por el cual es aconsejable hacer avances por paños. En el caso de la muestra de la investigación (40 cm x 40 cm) se realizaría paños ideados de 3.20 m x 4.0 m. Es posible ampliar las dimensiones para poder estampar un pavimento por paños y aumentar el rendimiento. (Imagen 45 – Anexos)

Rendimiento de estampado por losas:

a. Diseño de estampado 0.40 m x 0.40 m x 0.08 m

Área estampador propuesto: 0.16 m²

Área del Paño ideado: 12.8 m²

Número de estampados necesarios: 80

Número de figuras estampadas: 8

Peso del estampador modelo: 2.67 Kg

b. Diseño de estampado 0.80 m x 0.40 m x 0.08 m

Área estampador propuesto: 0.32 m²

Área del paño ideado: 12.8 m²

Numero de estampados necesarios: 40

Número de figuras estampadas: 16

Peso del estampador modelo: 5.34 Kg

Si utilizara una retícula metálica para estampado con el modelo de la investigación será apropiado ampliar las dimensiones a 0.40 m x 0.80 m, de esta manera se volvería un instrumento de estampado de uso sencillo y que se adapte a las condiciones donde se lo aplique.

En las zonas intermedias de un paño relleno con concreto rígido es posible movilizarse y aplicar el estampado mediante un puente móvil de madera o metálico según requiera las circunstancias.

4.8.2. Continuidad del estampado:

Se realizó con el modelo de muestra pequeño (0.20 m x 0.10 m) la continuidad del estampado con el patrón de adoquines como se muestra en la imagen 46 de los anexos: Con un diseño reticular metálico, es posible realizar esta continuidad alineando en un pavimento con diversos instrumentos de trabajo o acondicionando el lugar para un mejor estampado.

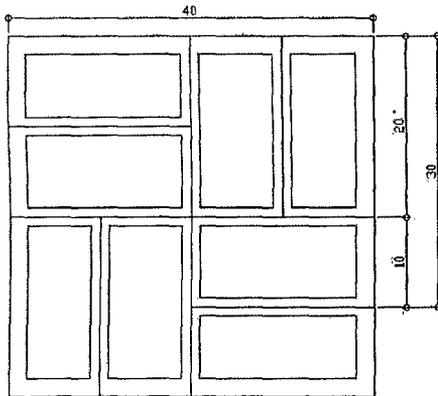
El estampado de las muestras tipo A se comportarían del mismo modo que las del tipo B a razón de la facilidad para poder imprimirse en el concreto diseñado. (Imagen 47 – Anexos)

Existen diversos patrones que se pueden realizar y de este modo buscar una estética adecuada o requerida por un cliente para un pavimento. Hay diversos diseños que se pueden usar en plazas, parques, estacionamientos, patios, calles, etc. imagen 48 – Anexos). En la imagen 49 y 50 se muestra pavimentos adoquinados los cuales pueden realizarse por medio de estampado, esto se hace efectuando un patrón de repetición en un diseño de impresión.

Para un patrón de diseño se toma en cuenta que exista repetición y continuidad para mejorar el rendimiento en la construcción de un pavimento reticulado. Lo ideal es realizar la misma iteración, para de este modo facilitar el trabajo al encargado de la obra. La parte final debe encajar con la inicial de modo que forme ciclos de trabajo.

4.8.3. Herramienta de impresión

Se realizó una retícula metálica de 40 cm x 40 cm, fácil de usar y transportar.



Especificaciones del estampador metálico:

Profundidad de estampado: 2 cm

Espesor de Junta: 3 mm

Peso: 2.67 Kg

Número de figuras estampadas: 8

Número de usuarios recomendado: 1

Un factor importante es el peso de la herramienta de estampado. Es mejor trabajar con la herramienta cerca que lejos del cuerpo. De esta manera, la fuerza real requerida para empuñarla es menor. Por ejemplo, una herramienta de 2 Kg, sostenida por la mano al final de un brazo de 70 cm de largo, ejerce sobre el hombro esfuerzo mayor que la herramienta sostenida a sólo 35 cm del hombro y esta mayor que los brazos hacia abajo; esto es a razón que la tensión que ejerce el brazo es menor que el momento de fuerza en los hombros, esto da una facilidad de trabajo en el obrero. La sensación del trabajador, o trabajadora, es que está sosteniendo una herramienta mucho más ligera.

Es recomendable tener una herramienta cerca del punto de equilibrio de la posición del trabajador. La suspensión de las herramientas por encima de su centro de gravedad puede hacer su manejo más cómodo y efectivo. También pueden emplearse mecanismos equilibradores para minimizar, tanto el peso de las herramientas, como el de los elementos de trabajo. Las herramientas ligeras reducen la fatiga, permiten una mejor exactitud e incrementan la productividad¹³.

Lo más adecuado es usar una herramienta estampadora de entre 2-3 Kg por persona y que la empuñadura se encuentre cerca del punto de equilibrio del operador.

¹³ Ministerio de trabajo y asuntos sociales. Revista: «Minimizar el peso de Herramientas.» Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo Madrid - España.

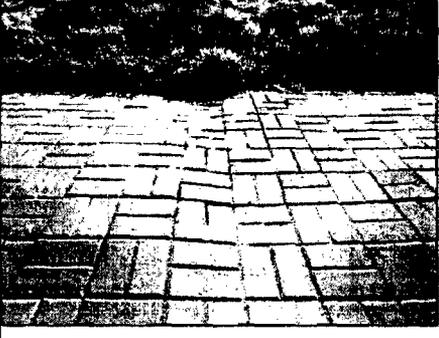
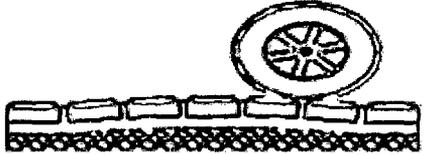
4.9. Mantenimiento del pavimento estampado:

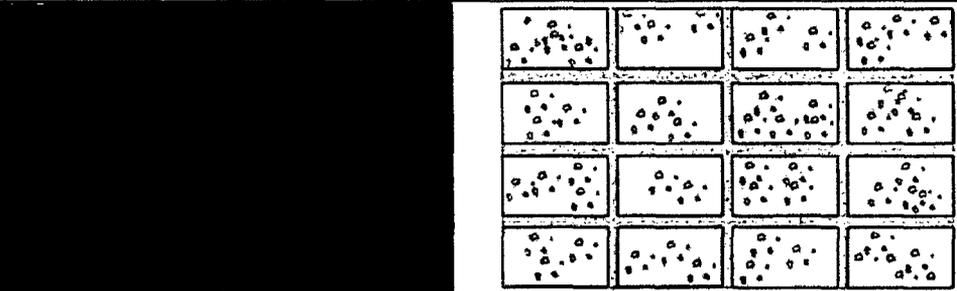
Si la unidad de un patrón de estampado tiende a dañarse esta puede retirársela cizallándola y poniendo una mezcla nueva e imprimir nuevamente el concreto. Esta se puede comportar como un bloque o adoquín ejerciendo funcionalidades similares para un pavimento, predominando la compresión que es lo primordial en este tipo de construcciones civiles. (Imagen 51 – Anexos)

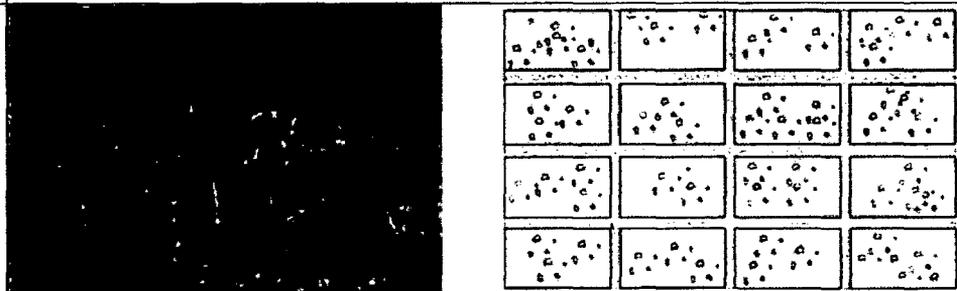
4.10. Posibles causas que puedan agrietar o fisurar el pavimento estampado:

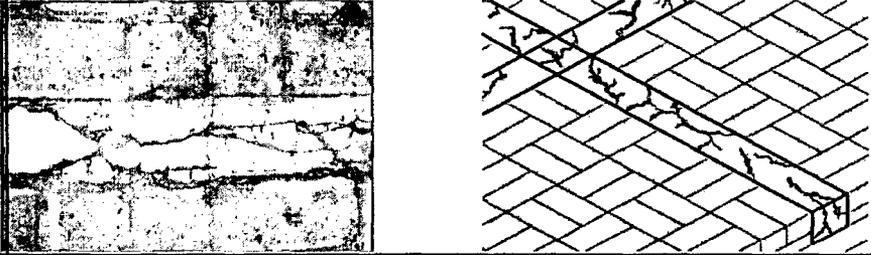
Se ha elaborado una guía de deterioros en pavimento estampados guiándome del estudio de patologías en pavimentos rígidos y adoquinados, que facilitará la identificación y cuantificación de los deterioros en una inspección visual.

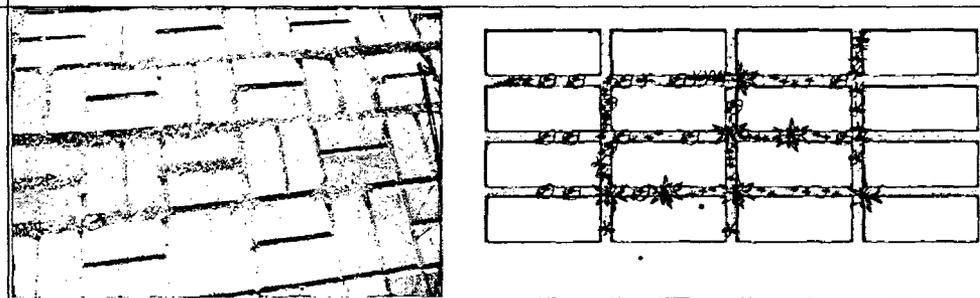
4.10.1. ABULTAMIENTO

DESCRIPCION	Son levantamientos o protuberancias posiblemente se puede presentar en un pavimento estampado.
CAUSAS	Cambios volumétricos de la subrasante. Generalmente se presentan en subrasantes con suelos expansivos.
IMAGEN Y ESQUEMA	 
REPARACION	<p>El trabajo a realizar es siguiendo estos pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Retiro unidades estampadas de la zona afectada; se calculará el concreto necesario para la recolocación e impresión. ○ Reposición de material conforme a las especificaciones de la capa a tratar. Si es necesario, se deben tomar materiales de mejores especificaciones, para evitar la incidencia de este daño nuevamente. ○ Compactación y nivelación de las capas tratadas. ○ Recolocación y estampado inicial de la superficie anteriormente levantados; es aconsejable colocar el estampado con las caras en la misma posición con que estaban antes, y así evitar discontinuidades de tonalidad en el pavimento. ○ En caso en que el daño sea muy severo y reincidente, debe considerarse la opción de realizársele un tratamiento o una estabilización al suelo de fundación.

4.10.2. DESGASTE SUPERFICIAL	
DESCRIPCION	Es la pérdida de finos en la superficie del pavimento estampado, creando una textura superficial rugosa, se forman cavidades y deja expuesto el agregado de mayor tamaño.
CAUSAS	Baja calidad y/o control en la mezcla de concreto. Por la abrasión de las llantas. Exposición constante a flujos de aguas a presión.
IMAGEN Y ESQUEMA	
REPARACION	Cuando el nivel de severidad es alto, es necesario el reemplazo de las piezas de estampadas por unas nuevas de mejor resistencia al desgaste.

4.10.3. FRACTURAMIENTO	
DESCRIPCION	Es la pérdida de finos en la superficie del adoquín, creando una textura superficial rugosa, se forman cavidades y deja expuesto el agregado de mayor tamaño.
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuado espesor del pavimento estampado. • Deficiencia en la calidad de los materiales del concreto • Paso de cargas extraordinarias.
IMAGEN Y ESQUEMA	
REPARACION	Verificar que el diseño del pavimento y su espesor cumplen con las solicitaciones de tránsito actual y futuro. En caso en que no cumplan, deben mejorarse las especificaciones y espesores en el pavimento impreso.

4.10.4. FRACTURAMIENTO DE CONFINAMIENTOS INTERNOS	
DESCRIPCION	Es el deterioro y destrucción parcial o total de los confinamientos internos. En estados avanzados de deterioro se presenta pérdida de material, permitiendo la incrustación de partículas y objetos extraños al pavimento.
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Fatiga provocada por el paso del tránsito. • Baja calidad de los materiales y/o precario control en el proceso de construcción. • Por impacto de las llantas de los vehículos, cuando los confinamientos están a un nivel superior al de la rasante de la carretera. • Por invasión de vegetación.
IMAGEN Y ESQUEMA	
REPARACION	Reconstrucción de los elementos de confinamiento.

4.10.5. VEGETACION	
DESCRIPCION	Es la invasión o crecimiento de vegetación a través de las juntas fuera del pavimento estampado o grietas (cuando lleguen a fisurarse) en el pavimento. La vegetación puede llegar a levantar el pavimento estampado.
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> • Abandono de la carretera. • Falta de limpieza y desmonte de las franjas adyacentes al pavimento.
IMAGEN Y ESQUEMA	
REPARACION	<p>Desmonte de la zona afectada.</p> <p>Limpieza de la zona afectada.</p> <p>También es aconsejable utilizar algunos métodos de ataque químicos que impidan el crecimiento de vegetación, como es la fumigación con productos herbicidas.</p>

4.11. Comparación de un pavimento estampado frente a un adoquinado.

Característica	Pavimento Impreso	Pavimento Adoquinado
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita un diseño impresor para realizar iteraciones e impresores pequeños para las zonas donde no abarque el impresor principal. • Es posible variar las resistencias a la compresión requerida, espesores, colores y formas. • Es posible reparar • Se puede diseñar diversas formas y figuras. • Puede resistir cualquier tipo de tránsito, se utiliza desde zonas de tránsito peatonal (veredas, plazas, patios para juegos, instalaciones deportivas, etc.), hasta en las de tránsito pesado (calles, carreteras, terminales de transporte, carga y puertos, pistas para aeropuertos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Piezas prefabricadas, que se pueden producir tanto en equipos sencillos y pequeños, como en tecnificados y grandes por parte de productores comerciales, grupos comunitarios o administraciones municipales, sin importar la escala o localización de los proyectos. • Es fácil de reparar y reutilizar. • Se puede dar servicio el mismo día de construcción. • Resiste cualquier tipo de tránsito, Por esto, el pavimento de adoquines se utiliza desde en zonas de tránsito peatonal (andenes, plazas, patios para juegos, instalaciones deportivas, etc.), hasta en las de tránsito pesado (calles, carreteras, terminales de transporte, carga y puertos, pistas para aeropuertos).
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • No es común en el mercado • No se puede dar servicio tan rápido como un adoquinado. • No se puede construir en tiempo de lluvias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lo venden pocas empresas en Perú predomina UNICOM y DINO • Para su construcción se utiliza vibrocompactadora. • Tiene patologías adicionales a un pavimento rígido

4.12. DISCUSIÓN:

4.12.1. Análisis de los datos

Cuando el tamaño máximo del agregado es menor, la resistencia a la compresión aumenta. Las muestras de consistencia plástica y TM 3/8" dieron resultados para dosificaciones 1:3.5, 1:4, 1.4.5 las resistencias a la compresión 349.81, 246.98, 157.01 respectivamente a los 28 días. Las muestras de consistencia: Plástica optima y TM 1/4" dieron resultados para dosificaciones 1:3.5, 1:4, 1.4.5 las resistencias a la compresión 361.86, 261.30, 186.52 respectivamente a los 28 días, esto indica que toda vez que se reduzca el tamaño máximo del agregado la resistencia a la compresión aumenta. Según los resultados son factores importantes que influyen para la resistencia, la trabajabilidad, la superficie específica de los agregados en el diseño de mezcla, la cantidad de cemento.

Las áreas de influencia de las diversas muestras de tipo B usadas para el cálculo de esfuerzo a la compresión dieron una media del grado de dispersión (desviación estándar) 3.9 esta medida está cerca de la predicción, entonces se ha considerado que las medidas no contradicen el método de impregnación asumida. Esto es coherente, ya que las mediciones caen dentro del rango de valores, en el cual es razonable que el modelo teórico sea correcto. La desviación estándar muestra la agrupación de los datos alrededor del valor central (promedio = 90.94 cm²)

Las resistencias al esfuerzo por corte de la muestra tipo A en el equipo de pruebas a escala natural dio 18 Tn y el realizado en el equipo de prueba universal fue menor a 1 Tn. Con esta referencia se tiene que las resistencias al corte varían según el patrón de impresión. Las fallas tuvieron un ángulo de corte que no superaba +/- 15° aproximadamente respecto a la ortogonalidad de la superficie. Este tipo de elementos son esencialmente para cargas a compresión.

Un pavimento estampado mejora el valor económico en el gasto de materiales de construcción, se puede variar las resistencias a la compresión deseadas y se pueden variar los diseños de impresión, respecto a los pavimentos convencionales.

4.12.2. Análisis de los resultados

Cuando no hay un diseño adecuado para un concreto requerido, es factible usar el método empírico volumétrico, pues es un método basado en la experiencia de escoger diversas dosificaciones y derivar la resistencia requerida según los resultados respectivos.

Siempre que sea posible, la dosificación del concreto deberá basarse en datos obtenidos de experiencias en laboratorio, en las cuales han sido utilizadas los materiales a ser empleados en obra, de este modo la información para una resistencia requerida no se vuelve limitada.

Con los métodos, pruebas utilizadas y el análisis de la bibliografía utilizada, el uso de un pavimento estampado de concreto para pavimentación resulta beneficioso en todos sus aspectos, además de embellecer el ornato de nuestros pavimentos

4.12.3. Contrastación de hipótesis

De acuerdo al estudio planteado, los aspectos centrales del comportamiento mecánico de las baldosas de concreto estampado tienen un comportamiento: Mecánico aceptable, estructural, estético y optimiza rendimientos. En vista del análisis de los datos procesados existe un contraste aceptado de la hipótesis.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES:

Un pavimento estampado es una alternativa como pavimentos articulado. Con esta tecnología se puede optimizar el comportamiento mecánico, estructura, tiempo, estética, y durabilidad respecto a los pavimentos convencionales.

Es posible estampar con un diseño reticular metálico siempre y cuando se realice una mezcla con un tamaño máximo de agregado de 3/8" y una consistencia seca o plástica.

En agregado con tamaño máximo de 3/8" una resistencia específica de 210 Kg/cm² la dosificación es de 1:4.2:0.52 y de este modo pueda realizarse un concreto para estampar. La dosificación para un estampado óptimo de concreto simple con resistencia especificada de 210 Kg/cm² con tamaño máximo de 1/4", es 1:4.3:0.53

Un pavimento estampado es fácil de realizar, aporta un buen rendimiento, optimiza el índice de personal en una obra, optimiza tiempo, durabilidad y estética; pero no son pavimentos comunes y no se puede dar uso el mismo día como los pavimentos por bloques.

Un pavimento estampado es durable, al fallar por agrietado o fisuramiento, la tendencia de esta se realiza en la transición de la junta inducida por la impresión. Posteriormente a esto, la fisura haría que el pavimento estampado se comporte como un pavimento articulado.

El esponjamiento existente en el agregado ensayado es del 30%. Aunque el esponjamiento en sí mismo no afecta las proporciones de un concreto dosificado en peso, en el caso de las dosificaciones en volumen da lugar que, en función de las diferentes condiciones de humedad del agregado, un volumen determinado del mismo pueda significar pesos diferentes con la consiguiente modificación en las proporciones de mezcla.

El método de los volúmenes empíricos es asertivo siempre y cuando se hagan diversos ensayos del agregado usado según cantera. A mayor índice de pruebas de resistencia a la compresión por dosificaciones se podrá encontrar una resistencia específica requerida con mayor precisión.

El estampado de un pavimento maximiza el número de bloques que se pueden habilitar en un tiempo determinado. A mayor dimensión sea la obra se puede implementar las dimensiones del estampador y de esa manera mejorar el rendimiento de trabajo. En el modelo de esta investigación se realizó la impregnación de 8 unidades con forma de adoquín comercial que se podría ampliar hasta 3 veces más su estampado, y de este modo ahorrar tiempo y trabajo.

La resistencia de un pavimento estampado puede mejorar según requerimientos. Esto es realizando variaciones en el diseño de la mezcla de concreto, como: mayor aporte de cemento, aditivos plastificantes, vibrocompactado de mezcla, nanosílice, dimensiones de la sección del pavimento en otros más que sean pertinentes a la resistencia del pavimento.

Con la técnica de estampado se limita el crecimiento de vegetales propios de un pavimento articulado, la socavación de la cama de arena por el agua, desniveles entre bloques, abultamientos, etc. El pavimento estampado también se comporta como un pavimento rígido. En el caso de fisuramiento o agrietamiento en las juntas inducidas, el alto índice de confinamiento limita la aparición de patologías de pavimentos articulados.

5.2. RECOMENDACIONES:

Puede agregarse colorantes en la superficie del pavimento de concreto estampado, acrílicos los cuales pueden dar brillo y mejorar durabilidad y estética. Respecto a rendimiento se puede usar otros materiales para el estampado así como superficies de caucho, material plástico, cilindros impresores, selladores.

Para una mejor resistencia en el diseño de mezcla presentado para un tráfico de tipo II se puede implementar la presencia de otros materiales en la mezcla de concreto como aditivos para concreto de alta resistencia, técnicas de vibrocompactación de mezcla o aumentar la sección del pavimento.

El diseño empírico volumétrico por razones de comprobación se debe realizar de diseño empírico a diseño analítico, en este caso se hizo un diseño por el método de los volúmenes absolutos, en el cual se incluyó el contenido de aire atrapado en el diseño de mezcla.

Realizar una investigación para hallar el factor cemento usando ensayos de contenido de aire en laboratorio, utilizando la olla a presión. (ASTM C 231-78)

En el caso de realizar otros patrones de forma y para cálculos de resistencia a la compresión es aconsejable usar el método de impregnación de humedad explicado en esta investigación para poder encontrar resultados más fidedignos, a razón de las áreas de influencia que se forman por el bombeo de la mezcla de concreto estampado en su superficie.

Para trabajos de estampado se recomienda diseñar piezas de impresión de diversas formas y tamaño adecuadas, el cual mejore la presentación y habilitación de trabajo. Ya que para un sistema reticular de impresión en algunas ocasiones no es posible estampar algunas zonas inaccesibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cagle, Michelle. «Asentamiento Diferencial.» *Professional Engineering Inspection Inc.*
http://www.ehowenespanol.com/definicion-asentamientos-diferenciales-hechos_104917/.

Castillo, Flavio Abanto. *Tecnología del Concreto*. Lima - Perú: San Marcos, s.f.

Constructor, Centro. «Características del Adoquin Intergrabado de Alto Transito.» *Centro Constructor*. s.f.

<http://www.centroconstructor.com.ar/ladrillo/bloques/cemento/hormigon/adoquines/integrados/articulados/caracteristicas-del-adoquin>.

Construdata. «Diseño de pavimentos de adoquines.» *Cartilla de Adoquines*. s.f.
http://www.construdata.com/BancoConocimiento/C/cartilla_de_adoquines/adoquines3.htm.

Corral, José Toirac. *Patología De La Construcción, Grietas Y Fisuras En Obras De Hormigón, Origen Y Prevención*. Republica Dominicana: Instituto Tecnológico de Santo Domingo, 2004.

Díaz, Rocio. 2014. «La Ciencia En El Mundo.» *Avance y Perspectiva Volumen 6 N° 02 Nueva Epoca 2014 - 2015* Enlace web:
http://issuu.com/elizabeth184/docs/revista.docx_ygt7t.

Hills, Farmington. s.f. «Joints in Concrete Construction, .» En *ACI 224.3R*, de American Concrete Institute. MI.

ICPA. «Construcción de Pavimentos de Adoquines.» *Instituto del Cemento Portland Argentino*. s.f. <http://www.icpa.org.ar/publico/files/pavadoq.pdf>.

Instituto del Cemento Portland Argentino, 2014. *Construcción de Pavimentos de Adoquines*. <http://www.icpa.org.ar/publico/files/pavadoq.pdf>.

Kauffmann, ing. Luis F. Altamirano. 2007. *Metodología De Medicion, Posibles Causas De Deterioro Y Reparaciones*. Lima - Perú: UNI.

M., Germán Guillermo Madrid. «Ventajas Y Aplicaciones De Los Pavimentos De Adoquines De Concreto.» *Arqcon*. 1 de setiembre de 2014.
<http://www.arqcon.com.ar/pprof/Aadh/pppavhormigon1.htm#top>.

Maguiña Alzamora, Jose Eloy. s.f. «CivilGeeks.» Proyecto de investigación, Chimbote - Perú. <http://civilgeeks.com/2012/03/27/juntas-en-el-concreto/>.

Ministerio De Trabajo y Asuntos Sociales. s.f. «Minimizar el peso de Herramientas.» *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Madrid - España

Pasquel Carbajal, Enrique. 1993. *Temas En Tecnología Del Concreto En El Perú*. Lima - Perú.

Rivva Lopez, Enrique. 1992. *Tecnología del Concreto: Diseño de mezclas*. Lima - Perú

Tudurí, Nicolás M^a Rubuí y. «Estudio de los problemas municipales de paseos, jardines y parques público.» *El problema de los espacios libres*. s.f. http://www.ub.edu/geocrit/rubio_texto.htm.

NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

- NTP 339.034:2008 CONCRETO, Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3a. ed. R. 001-2008/INDECOPI-CRT (2008-01-25).
- NTP 339.035:1999 CONCRETO. Método de ensayo para la medición del revenimiento del concreto con el cono de Abrahms. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
- NTP 339.036:1999 CONCRETO. Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT
- NTP 339.070:1982 CONCRETO. Toma de muestras de agua para la preparación y curado de morteros y concretos de cemento portland.
- NTP 339.077:2003 CONCRETO. Métodos de ensayo normalizado para la exudación del concreto 2a. ed. R. 20-2003-CRT-INDECOPI
- NTP 339.085:1981 CONCRETO. Método de ensayo para la determinación de un índice de consistencia de concretos fresco. Por el método de la mesa de sacudidas.

- NTP 339.185:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- NTP 400.011:1976 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos R. 758-76 (1976).
- NTP 400.012:2001 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2a. ed. R. 71-2001-INDECOPI-CRT (2001-07-17).
- NTP 400.017:1999 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
- NTP 400.019:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. 2a. ed. R. 7-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-09).
- NTP 400.021:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- NTP 400.022:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- NTP 400.037:2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto R. 13-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-27).

NORMAS AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM)

ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org

CEMENTO

- ASTM C150-07 Standard Specification for Portland Cement.
- ASTM C188-95 (2003) Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement.
- ASTM C595-08 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.

AGREGADOS

- ASTM C127-07 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C128-07a Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM C131-06 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C136-06 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM C29/C29M-07 Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate.
- ASTM C295-03 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete.
- ASTM C33-07 Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ASTM C40-04 Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.
- ASTM C535-03e1 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C586-05 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method).
- ASTM D75-03 Standard Practice for Sampling Aggregates.

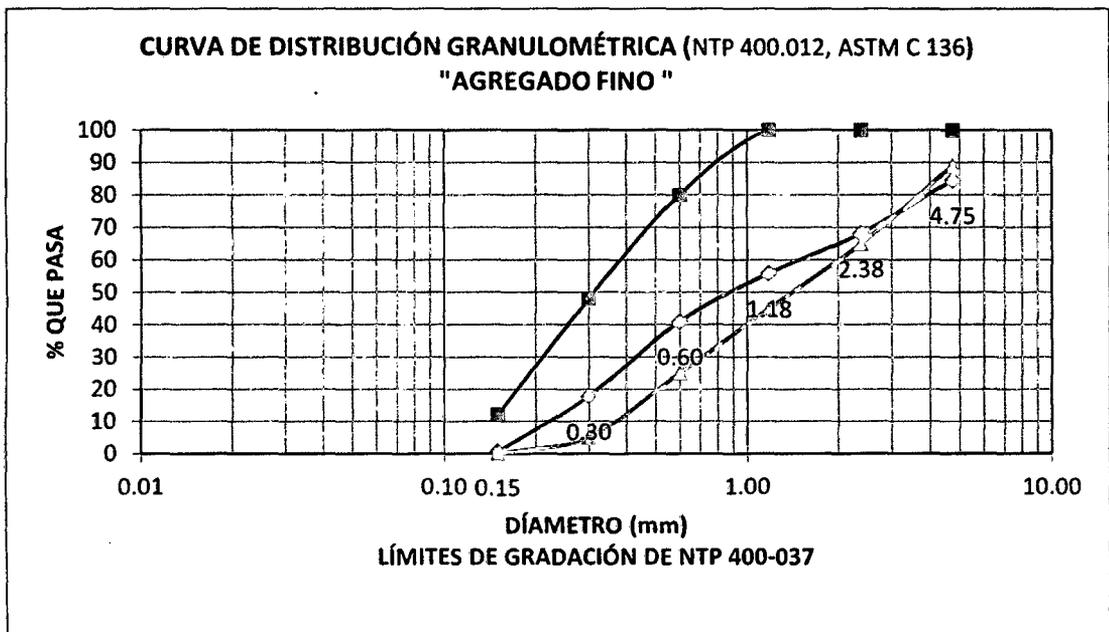
ANEXOS:

A. Cálculo de las propiedades físicas y mecánicas del Agregado Fino:

a.1 Análisis Granulométrico:

Primer Ensayo Granulométrico: Peso de la muestras: 2298 g

Nº de Tamiz	Abertura (mm)	P. Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Que pasa
Nº 4	4.75	354.10	15.41	15.41	84.59
Nº 8	2.38	376.50	16.38	31.79	68.21
Nº 16	1.18	283.00	12.31	44.10	55.90
Nº 30	0.60	341.40	14.85	58.95	41.05
Nº 50	0.30	535.90	23.32	82.27	17.73
Nº 100	0.15	395.50	17.21	99.48	0.52
Cazoleta		12.00	0.52	100.00	0.00



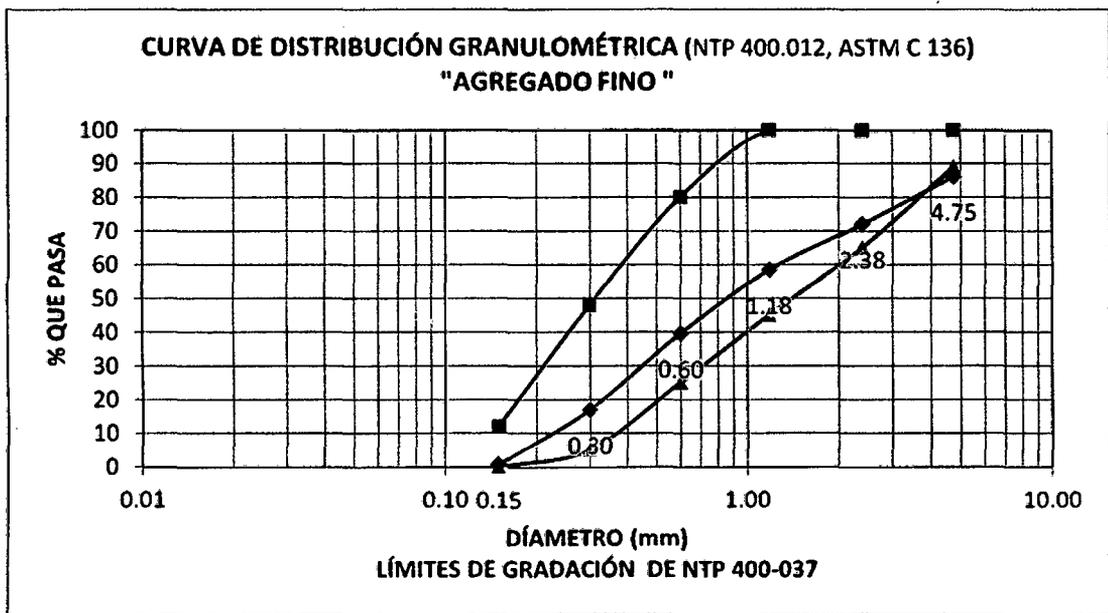
$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (N}^\circ 4, \text{ N}^\circ 8, \text{ N}^\circ 16, \text{ N}^\circ 30, \text{ N}^\circ 50, \text{ N}^\circ 100)}{100}$$

$$MF = \frac{15.41 + 31.79 + 44.1 + 58.95 + 82.27 + 99.48}{100}$$

$$MF = 3.32$$

Segundo Ensayo Granulométrico: Peso de la muestras: 1165.20 g

N° de Tamiz	Abertura (mm)	P. Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Que pasa
N° 4	4.75	162.00	13.90	13.90	86.10
N° 8	2.38	164.80	14.14	28.05	71.95
N° 16	1.18	157.70	13.53	41.58	58.42
N° 30	0.60	220.00	18.88	60.46	39.54
N° 50	0.30	264.10	22.67	83.13	16.87
N° 100	0.15	189.50	16.26	99.39	0.61
Cazoleta		7.10	0.61	100.00	0.00



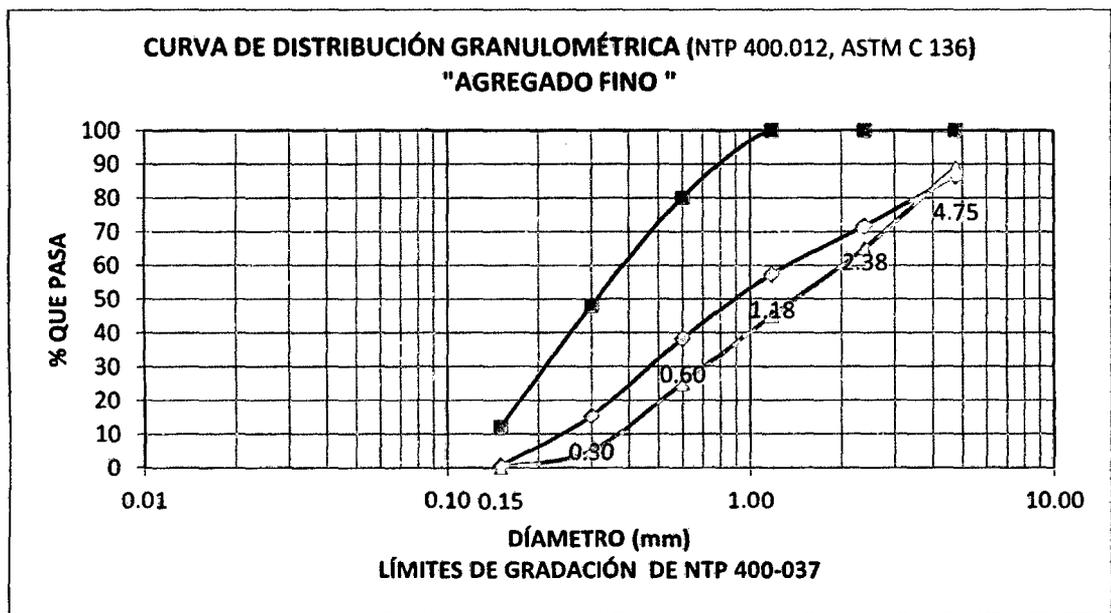
$$\text{MF} = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

$$\text{MF} = \frac{13.9+28.05+41.58+60.46+83.13+99.39}{100}$$

$$\text{MF} = 3.27$$

Tercer Ensayo Granulométrico: Peso de la muestras: 1165.20 g

N° de Tamiz	Abertura (mm)	P. Retenido	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Que pasa
N° 4	4.75	155.60	13.61	13.61	86.39
N° 8	2.38	168.80	14.77	28.38	71.62
N° 16	1.18	163.20	14.28	42.66	57.34
N° 30	0.60	218.20	19.09	61.75	38.25
N° 50	0.30	262.20	22.94	84.69	15.31
N° 100	0.15	169.00	14.79	99.48	0.52
Cazoleta		6.00	0.52	100.00	0.00



$$MF = \frac{\% \text{ Ret. Acum. Tamices (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

$$MF = \frac{13.61 + 28.38 + 42.66 + 61.75 + 84.69 + 99.48}{100}$$

$$MF = 3.31$$

a.2. Módulo de Finura

Ensayo 01	3.32
Ensayo 02	3.27
Ensayo 03	3.31
Promedio	3.30

a.3. Peso específico y absorción

Ws: Peso de la Muestra seca

Ws1	485.2 gr
Ws2	487.4 gr
Ws3	485.4 gr

A: Peso de la Fiola + Muestra

A1	1045.6 gr
A2	694.6 gr
A3	1305.9 gr

B: Peso de fiola + Agua + Muestra

B1	1359.4 gr
B2	1009.5 gr
B3	1619.4 gr

S: Peso de la muestra saturada Con superficie seca

S1	500 gr
S2	500 gr
S3	500 gr

Va: Volumen de Agua Añadida= B-S-A+500

Va1	313.80 cm ³
Va2	314.90 cm ³
Va3	313.50 cm ³

Peso específico de masa

$$\text{Pe.m 1} = \frac{485.20}{500-313.8}$$

$$\text{Pe.m 2} = \frac{485.40}{500-314.9}$$

$$\text{Pe.m} = \frac{W_s}{S-V_a}$$

$$\text{Pe.m 1} = 2.61 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.m 2} = 2.63 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.m } 3 = \frac{487.40}{500-313.5} \qquad \text{Pe.m } 3 \quad 2.60 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.m} \quad 2.61 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$\text{Pe S.S.S} = \frac{S}{S-Va}$$

$$\text{Pe S.S.S } 1 = \frac{500}{500-313.8}$$

$$\text{Pe S.S.S } 1 \quad 2.69 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe S.S.S } 2 = \frac{500}{500-314.9}$$

$$\text{Pe S.S.S } 2 \quad 2.70 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe S.S.S } 3 = \frac{500}{500-313.5}$$

$$\text{Pe S.S.S } 3 \quad 2.68 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pem S.S.S} \quad 2.69 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico nominal o aparente

$$\text{Pe.a} = \frac{Ws}{(S-Va)-(S-Ws)}$$

$$\text{Pe.a } 1 = \frac{485.20}{500-313.8-500+485.2}$$

$$\text{Pe.a } 1 \quad 2.83 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.a } 2 = \frac{487.40}{500-314.9-500+487.4}$$

$$\text{Pe.a } 2 \quad 2.83 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.a } 3 = \frac{485.40}{500-313.5-500+485.4}$$

$$\text{Pe.a } 3 \quad 2.82 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Pe.a} \quad 2.83 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción

$$\text{Abs} = \frac{S-Ws}{Ws} \times 100$$

$$\text{Abs } 1 = \frac{500-485.2}{485.2} \times 100$$

$$\text{Abs } 1 \quad 3.05 \%$$

$$\text{Abs 2} = \frac{500-487.4}{487.4} \times 100 \qquad \text{Abs 2} \quad 2.59 \%$$

$$\text{Abs 3} = \frac{500-485.4}{485.4} \times 100 \qquad \text{Abs 3} \quad 3.01 \%$$

Abs **2.88 %**

a.4. Contenido de Humedad

$$W = \frac{A-B}{B} \times 100$$

A: **Peso de la muestra húmeda**
 B: **Peso de la muestra seca**

A1 =	1231.6gr	B1 =	1178.3gr
A2 =	1195.6gr	B2 =	1137gr
A3 =	1319.1gr	B3 =	1270.5gr

W 1=	$\frac{1231.6-1178.3}{1178.3} \times 100$	W%	4.52 %
W 2=	$\frac{1195.6-1137}{1137} \times 100$	W%	5.15 %
W 3=	$\frac{1319.1-1270.5}{1270.5} \times 100$	W%	3.83 %
	Promedio		4.50 %

a.5. Peso Unitario

Peso unitario seco Suelto

V. Agua en el molde 5699.71 cm³
 P Agua en el molde 5.700 Kg

$$F = \frac{1000 \text{ kg/m}^3}{P \text{ Agua en el molde}}$$

$$F = 1000 \text{ kg/m}^3$$

5.700 Kg

$$F = 175.448/m^3$$

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	11.190	11.190	11.190
Peso del Molde + Material (Kg)	20.380	20.520	20.110
Peso del Material (Kg)	9.190	9.330	8.920
Factor (F)	175.448	175.448	175.448
Peso Unitario Suelto (Kg/m³)	1612.37	1636.926	1564.992
Peso Unitario Suelto Promedio		1604.76 Kg/m3	

Peso unitario seco Compactado

Ensayo N°	1	2	3
Peso del Molde (Kg)	8.210	8.210	8.210
Peso del Molde + Material (Kg)	17.630	17.550	17.740
Peso del Material (Kg)	9.520	9.540	9.610
Factor (F)	175.448	175.448	175.448
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	1670.26	1673.77	1686.050
Peso Unitario Compactado Promedio		1676.7 Kg/m3	

a.6. Porcentaje que pasa el tamiz # 200

$$\% \text{ Pasa tamiz N° 200} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

W_i: Peso seco de la muestra Original

W_f: Peso seco de la muestra después del lavado

W _i 1	1000 gr		W _f 1	967 gr
W _i 2	1000 gr		W _f 2	968 gr
W _i 3	1000 gr		W _f 3	968 gr
% Pasa tamiz N° 200 =	1000-967	x100	% Pasa tamiz N° 200 =	3.30 %
	967 gr			
% Pasa tamiz N° 200 =	1000-968	x100	% Pasa tamiz N° 200 =	3.20 %
	968 gr			
% Pasa tamiz N° 200 =	1000-968	x100	% Pasa tamiz N° 200 =	3.20 %
	968 gr			

a.7. Cálculo de esponjamiento:

$$E = \frac{100 (V_m - V_s)}{V_s}$$

En la que:

E = Esponjamiento

V_m = Volumen inicial del agregado fino

V_s = Volumen en el estado saturado

$$V_m: 28 \cdot \pi \frac{20.5^2}{4} = 9241.78 \text{ cm}^3,$$

$$V_{s1}: (28-6.4) \cdot \pi \frac{20.5^2}{4} = 7129.37 \text{ cm}^3$$

$$V_{s1}: (28-6.3) \cdot \pi \frac{20.5^2}{4} = 7162.38 \text{ cm}^3$$

$$V_{s1}: (28-6.7) \cdot \pi \frac{20.5^2}{4} = 7030.35 \text{ cm}^3$$

$$V_{s\text{Promed}}: 6799.31 \text{ cm}^3$$

$$E = \frac{100 (9241.78 - 7,107.37)}{7,107.37}$$

$$E = 30.3 \%$$

B. Cálculos de dosificación y cantidades de material

Datos: TM: 3/8", proporción en volumen aparente: 1:4.2:0.52

P.e. del cemento: 2.96 gr/cm³ (Anexos) P.e. del Agregado fino: 2.61 gr/cm³

W%: 4.5% Abs%: 2.88% A/C: 0.52 Puss AF: 1604.8 Kg/m³

b.1. Calculo de dosificación proporcional en Peso:

1. Volumen de diseño de los materiales en base a una bolsa de cemento:

$$\text{Cemento} = 1 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado Fino} = 4.2 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua efectiva} = 22.1 \text{ L}$$

4. Peso de materiales de diseño:

$$\text{Cemento} = 42.5 \text{ Kg.}$$

$$\text{Agregado Fino} = \frac{4.2 \times 1604.8}{35.315} = 190.85 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua de diseño} = 22.1 + \left(190.85 \times \frac{4.5 - 2.88}{100} \right) = 25.192 \text{ L}$$

5. Entonces la proporción en peso de la mezcla en obra será:

$$\frac{42.5}{42.5} : \frac{190.85}{42.5} : \frac{25.192}{42.5} \text{ L} \longrightarrow 1 : 4.49 : 0.593 \approx 1 : 4.5 : 0.6$$

b.2. Cálculo de la cantidad de materiales por el método de los volúmenes absolutos:

$$\text{Cemento} = \frac{42.5}{2.96 \times 1000} = 0.014358 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Fino} = \frac{190.85}{2.61 \times 1000} = 0.073123 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} = \frac{25.192}{1000} = 0.025192 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto total} = 0.112673 \text{ m}^3$$

Contenido de aire atrapado precisado en tabla ACI (anexo) para 3/8" en mortero es 3%

$$1 - \frac{3}{100} = 0.97$$

Entonces el factor cemento o número de bolsas de cemento por m³ de concreto será:

$$\text{Factor Cemento} = \frac{\text{Volumen absoluto total}}{\text{Volumen absoluto de la Colada}}$$

$$\text{Factor Cemento} = \frac{0.97}{0.112673}$$

$$\text{Factor Cemento} = 8.6 \text{ bls/m}^3$$

Peso de los materiales por m³ de concreto:

$$\text{Cemento} = 8.6 \times 42.5 \text{ Kg.} = 365.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Agregado Fino} = 8.6 \times 190.85 = 1641.31 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua de diseño} = 8.6 \times 25.192 = 216.65 \text{ L}$$

C. Resistencias a la compresión de muestras ensayadas:

Tabla 08. Cargas, áreas y resistencias encontradas en los ensayos a compresión para muestras con consistencia plástica y tamaño máximo de 3/8"

Muestras con consistencia Plástica y TM 3/8"			Carga (Tn)	Área influyent e* (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia Promedio (Kg/cm ²)
Dosificación	Días de curado	Muestra				
1:3.5:0.45	14 días	1	23	88.1	261.06	255.86
		2	25	96.5	259.06	
		3	24.5	99	247.47	
	28 días	4	30	85.9	349.24	349.81
		5	32	93.5	342.25	
		6	31.5	88	357.95	
1:4:0.5	14 días	7	13.5	92	146.74	146.68
		8	14	94.5	148.14	
		9	13,5	93	145.16	
	28 días	10	21.5	85.9	250.29	246.98
		11	22.5	93.5	240.64	
		12	22	88	250	
1:4.5:0.55	14 días	13	11	87.6	125.57	133.16
		14	12.5	88	142.04	
		15	12	91	131.86	
	28 días	16	16	90.5	176.79	157.01
		17	13	92	141.3	
		18	13.75	89.9	152.94	

(*) Calculado en Autocad

Interpolando las resistencias a los 28 días se puede llegar a una dosificación volumétrica aproximada a una resistencia requerida de 210 Kg/cm²

Resistencia Promedio	Valor volumétrico de agregado fino	Resistencia Promedio	Valor volumétrico de agua
246.98	4	246.98	0.50
210	x	210	y
157.01	4.5	157.01	0.55

$$x = 4.2, \quad y = 0.52$$

Entonces la relación volumétrica para un concreto a estampar con una resistencia requerida de 210 kg/cm² es de **1:4.2:0.52**

Por razones técnicas y de seguridad se debe usar para diseño de mezcla la dosificación volumétrica: Diseño: $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, Consistencia: Plástica, TM: 3/8" Dosificación: 1:4:0.5 (Cemento: Agregado Fino: Agua)

Como se puede ver, con esta metodología es posible encontrar una dosificación a una resistencia requerida basándose en la experiencia del diseño de mezcla y su resultado a ensayos de compresión.

Que la dosificación requiera tan solo agregado fino optimiza el balance del diseño para no encontrar prácticas de una mezcla sobregravosa o sobrearenosa.

Tabla 09. Cargas, áreas y resistencias encontradas en los ensayos a compresión para muestras de consistencia: Plástica óptima y tamaño máximo de 1/4”

Muestras con Consistencia: Plástica óptima y TM 1/4”			Carga	Área influyente* (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia Promedio (Kg/cm ²)
Dosificación En volumen	Días de curado	Muestra				
1:3.5:0.45	14 días	1	24.5	91.5	267.76	261.10
		2	25	93.2	268.24	
		3	23	93	247.31	
	28 días	4	30	85.9	349.24	361.86
		5	35	93.5	374.33	
		6	32	88.4	361.99	
1:4:0.5	14 días	7	13.5	87.6	154.11	153.10
		8	14	92.4	151.52	
		9	14	91.1	153.68	
	28 días	10	23	90.5	254.14	261.30
		11	24.5	92	266.30	
		12	24.5	93	263.44	
1:4.5:0.55	14 días	13	11	93.5	117.65	132.23
		14	12.5	88	142.05	
		15	12	87.6	136.99	
	28 días	16	16	87.2	183.49	186.52
		17	18	91.5	196.72	
		18	16.5	92	179.35	

Interpolación de resistencias a los 28 para encontrar una dosificación volumétrica aproximada a una resistencia requerida de 210 Kg/cm²:

Resistencia Promedio	Valor volumétrico de agregado fino	Resistencia Promedio	Valor volumétrico de agua
261.30	4	261.30	0.50
210	x	210	y
186.52	4.5	186.52	0.55

$$x = 4.34, \quad y = 0.53$$

Relación volumétrica para un concreto a estampar con una resistencia requerida de 210 kg/cm² y un TM: 1/4" es de 1:4.3:0.53.

Por razones técnicas y de seguridad se usará para diseño de mezcla la dosificación volumétrica: Diseño: $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, Consistencia: Plástica óptima, TM: 1/4" Dosificación: 1:4:0.5 (Cemento: Agregado Fino: Agua)

D. Grado de dispersión en áreas de influencia de muestras ensayadas a compresión:

La medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio de las áreas de influencia hallada con el método de impregnación de humedad indicada en la investigación es:

Tabla 10. Áreas de influencia de cada muestra ensayada

Muestra	Área (cm ²)						
1	88.1	10	85.9	19	88.1	28	85.9
2	96.5	11	93.5	20	96.5	29	93.5
3	99	12	88	21	99	30	88
4	85.9	13	87.6	22	85.9	31	87.6
5	93.5	14	88	23	93.5	32	88
6	88	15	91	24	88	33	91
7	92	16	90.5	25	92	34	90.5
8	94.5	17	92	26	94.5	35	92
9	93	18	89.9	27	93	36	89.9

Promedio: 90.94 cm²
Muestras: 36

Desviación estándar: 3.59 Kg/cm²
Variación: 3.95 %

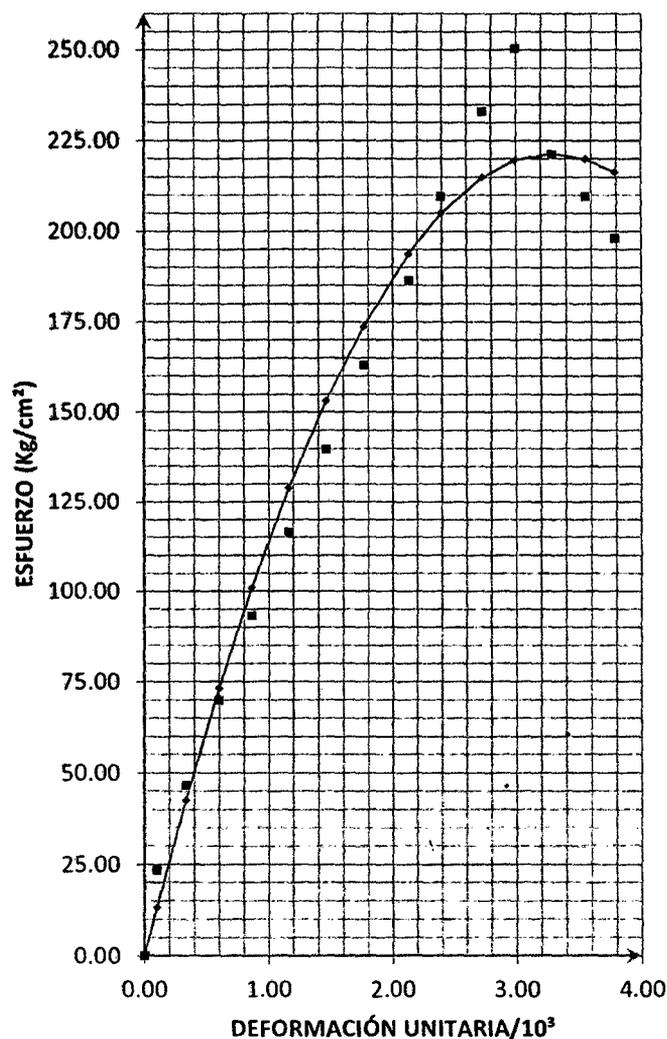
La media de las medidas está cerca de la predicción, entonces se ha considerado que las medidas no contradice el método de impregnación. Esto es coherente, ya que las mediciones caen dentro del rango de valores en el cual es razonable que el modelo teórico sea correcto. La desviación estándar muestra la agrupación de los datos alrededor del valor central (promedio = 90.94 cm²)

E. MUESTRAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN

C.1. Ensayos para muestras en dosificación 1:4:0.5 TM: 3/8" y Consistencia: Plástica

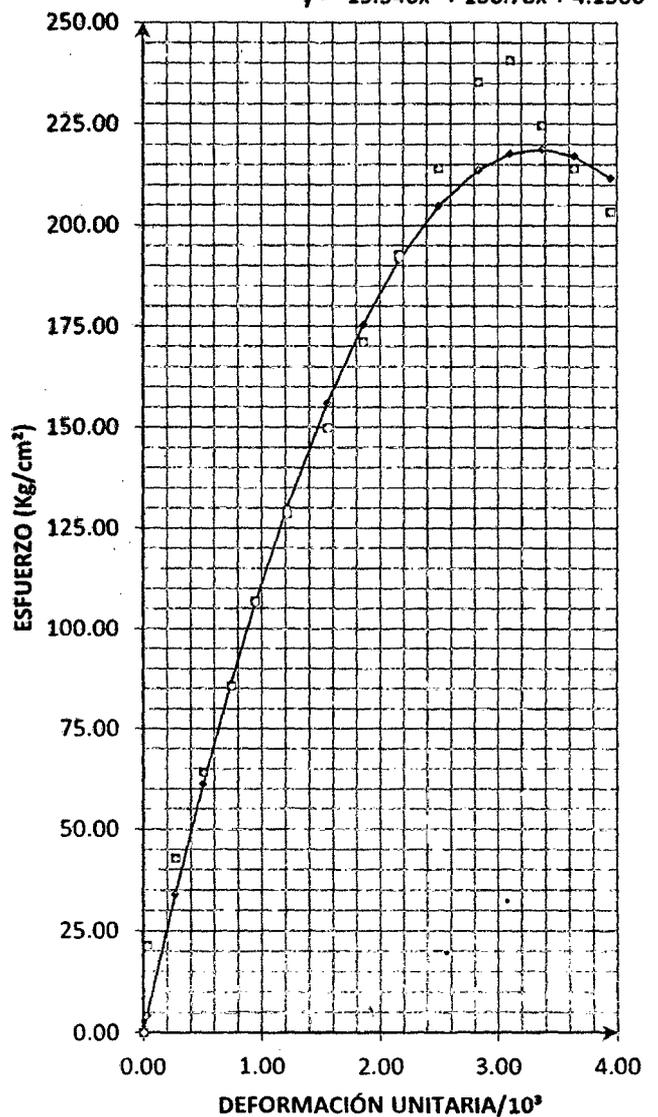
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION				
Consistencia: Plástica TM: 3/8" Muestra: 10				
Cemento: Pacasmayo Tipo Ico				
Edad:		28 días		
Fecha de elaboración:		03/12/2014		
Fecha de rotura:		17/12/2014		
Resistencia característica (kg/cm ²):		210		
Área de influencia (cm ²):		85.9		
Altura (mm):		865		
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10 ³	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo corregido (kg/cm ²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.080	0.10	23.28	13.22
4000	0.266	0.33	46.57	42.47
6000	0.479	0.60	69.85	73.19
8000	0.692	0.86	93.13	101.02
10000	0.931	1.16	116.41	128.88
12000	1.170	1.46	139.70	153.07
14000	1.410	1.76	162.98	173.60
16000	1.702	2.13	186.26	193.72
18000	1.915	2.39	209.55	204.91
20000	2.181	2.73	232.83	214.84
21500	2.394	2.99	250.29	219.53
19000	2.633	3.29	221.19	221.35
18000	2.846	3.56	209.55	219.89
17000	3.032	3.79	197.90	216.24
Ecuación de la curva:		Esf. = -20.441x ² + 134.53x - 1.0976		
Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)		250.29		

Muestra Estampada N° 1
Esfuerzo Vs Deformación
del concreto f_c=210 kg/cm² $y = -20.441x^2 + 134.53x - 1.0976$



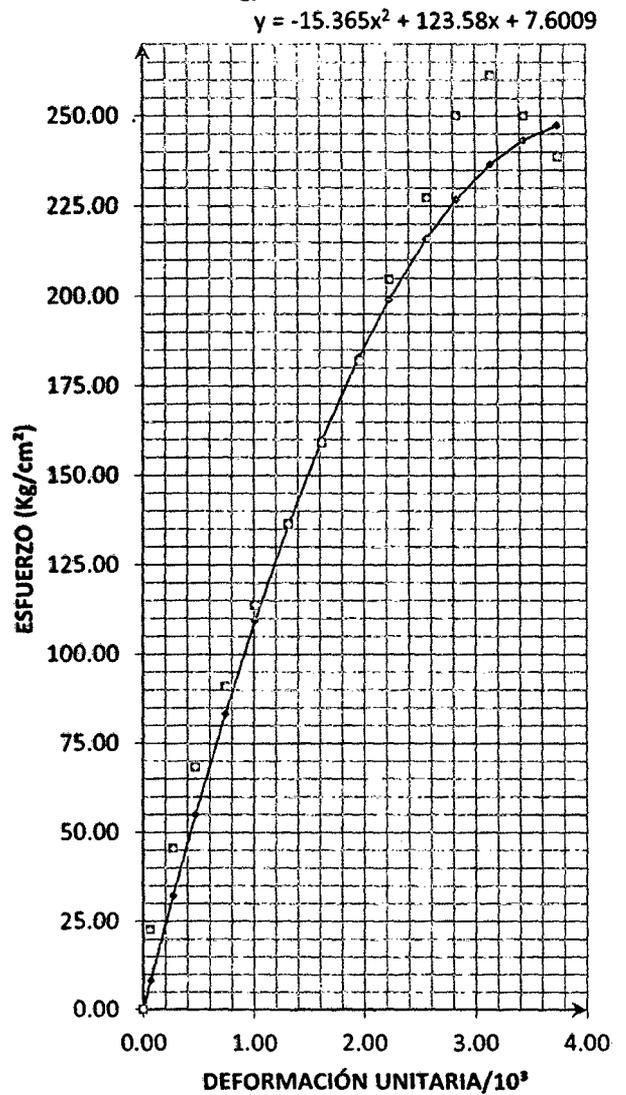
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION				
Consistencia: Plástica TM: 3/8" Muestra: 11				
Cemento: Pacasmayo Tipo Ico				
Edad:		28 días		
Fecha de elaboración:		03/12/2014		
Fecha de rotura:		17/12/2014		
Resistencia característica (kg/cm²):		210		
Área de influencia (cm²):		93.5		
Altura (mm):		875		
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.027	0.03	21.39	4.39
4000	0.216	0.27	42.78	33.89
6000	0.405	0.51	64.17	61.20
8000	0.594	0.74	85.56	86.33
10000	0.756	0.95	106.95	106.13
12000	0.972	1.22	128.34	130.04
14000	1.242	1.55	149.73	155.93
16000	1.485	1.86	171.12	175.41
18000	1.728	2.16	192.51	191.29
20000	1.998	2.50	213.90	204.70
22000	2.268	2.84	235.29	213.67
22500	2.484	3.11	240.64	217.63
21000	2.700	3.38	224.60	218.74
20000	2.916	3.65	213.90	217.00
19000	3.159	3.95	203.21	211.64
Ecuación de la curva		Esf. = -19.546x² + 130.78x + 4.1306		
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)			240.64	

Muestra Estampada N° 2
Esfuerzo Vs Deformación
del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$
 $y = -19.546x^2 + 130.78x + 4.1306$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION				
Consistencia: Plástica TM: 3/8" Muestra: 12				
Cemento: Pacasmayo Tipo Ico				
Edad:		28 días		
Fecha de elaboración:		03/12/2014		
Fecha de rotura:		17/12/2014		
Resistencia característica (kg/cm²):		210		
Área de influencia (cm²):		88		
Altura (mm):		860		
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit./10³	Esfuerzo (kg/cm²)	Esfuerzo corregido (kg/cm²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.054	0.07	22.73	8.27
4000	0.216	0.27	45.45	32.25
6000	0.378	0.47	68.18	54.96
8000	0.594	0.74	90.91	83.29
10000	0.810	1.01	113.64	109.37
12000	1.053	1.32	136.36	136.04
14000	1.296	1.62	159.09	159.88
16000	1.566	1.96	181.82	183.03
18000	1.782	2.23	204.55	199.04
20000	2.052	2.57	227.27	215.89
22000	2.268	2.84	250.00	226.86
23000	2.511	3.14	261.36	236.51
22000	2.754	3.44	250.00	243.34
21000	2.997	3.75	238.64	247.32
Ecuación de la curva:		Esf. = -15.365x² + 123.58x + 7.6009		
Esfuerzo de rotura (kg/cm²)			250.00	

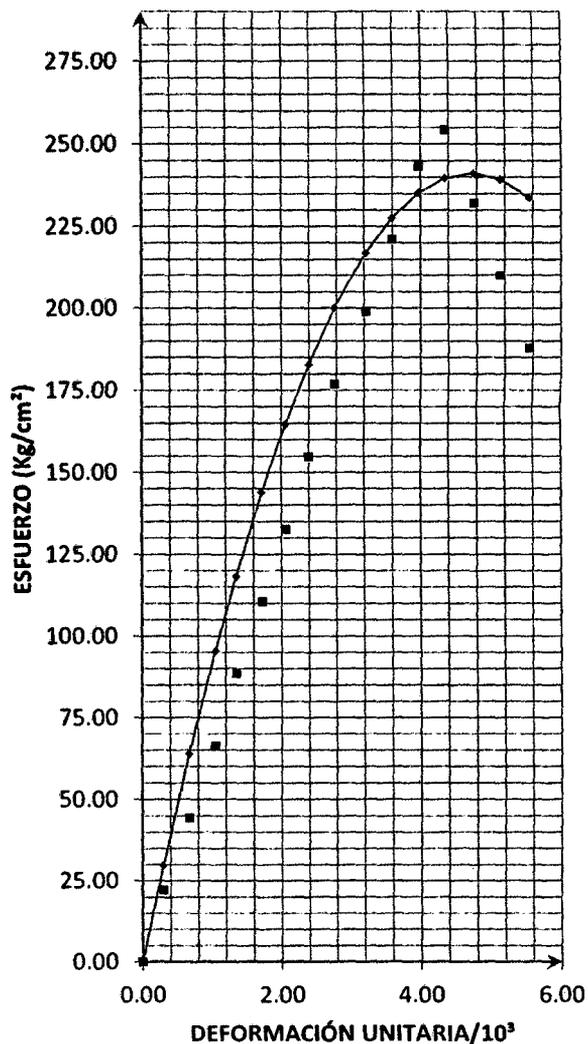
Muestra Estampada N° 3
Esfuerzo Vs Deformación
del concreto f'c=210 kg/cm²



C.2. Ensayos para muestras en dosificación 1:4:0.5 TM: ¼" y Consistencia: Óptima

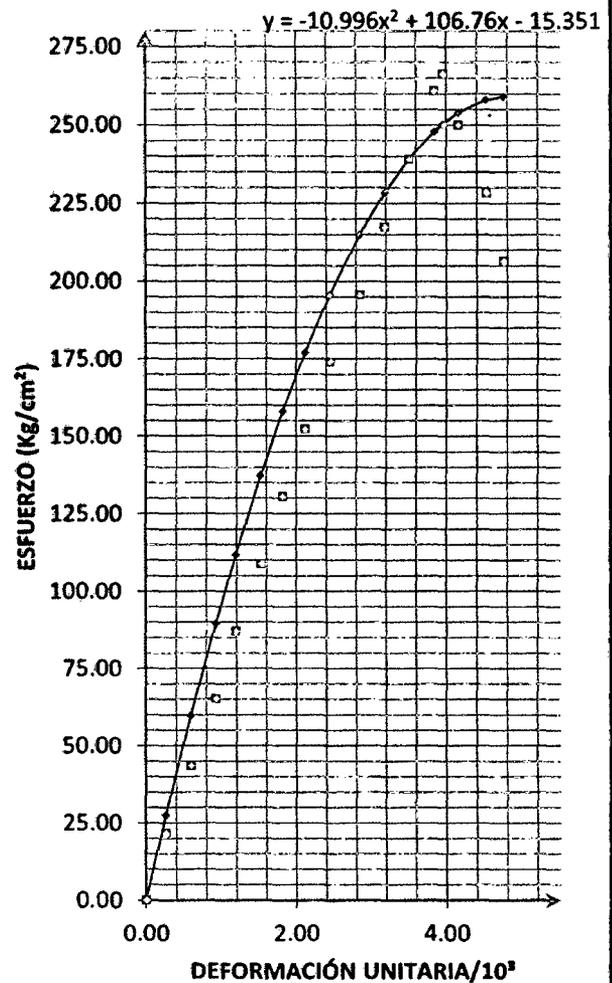
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION				
Consistencia: Óptima TM: 1/4" Muestra: 10				
Cemento: Pacasmayo Tipo Ico				
Edad:		28 días		
Fecha de elaboración:		22/12/2014		
Fecha de rotura:		19/01/2015		
Resistencia característica (kg/cm ²):		210		
Área de influencia (cm ²):		90.5		
Altura (mm):		855		
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit. / 10 ³	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo corregido (kg/cm ²)
0	0.00	0.00	0.00	0.00
2000	0.24	0.30	22.10	29.67
4000	0.54	0.68	44.20	64.01
6000	0.84	1.05	66.30	95.31
8000	1.08	1.35	88.40	118.16
10000	1.38	1.73	110.50	143.99
12000	1.65	2.06	132.60	164.63
14000	1.92	2.40	154.70	182.81
16000	2.22	2.78	176.80	200.12
18000	2.58	3.23	198.90	216.88
20000	2.88	3.60	220.99	227.49
22000	3.18	3.98	243.09	235.07
23000	3.48	4.35	254.14	239.60
21000	3.81	4.76	232.04	241.07
19000	4.11	5.14	209.94	239.22
17000	4.44	5.55	187.85	233.66
Ecuación de la recta		Esf. = -10.816x ² + 102.13x - 18.058		
Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)		254.14		

Muestra Estampada N° 1
Esfuerzo Vs Deformación
del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$
 $y = -10.816x^2 + 102.13x - 18.058$



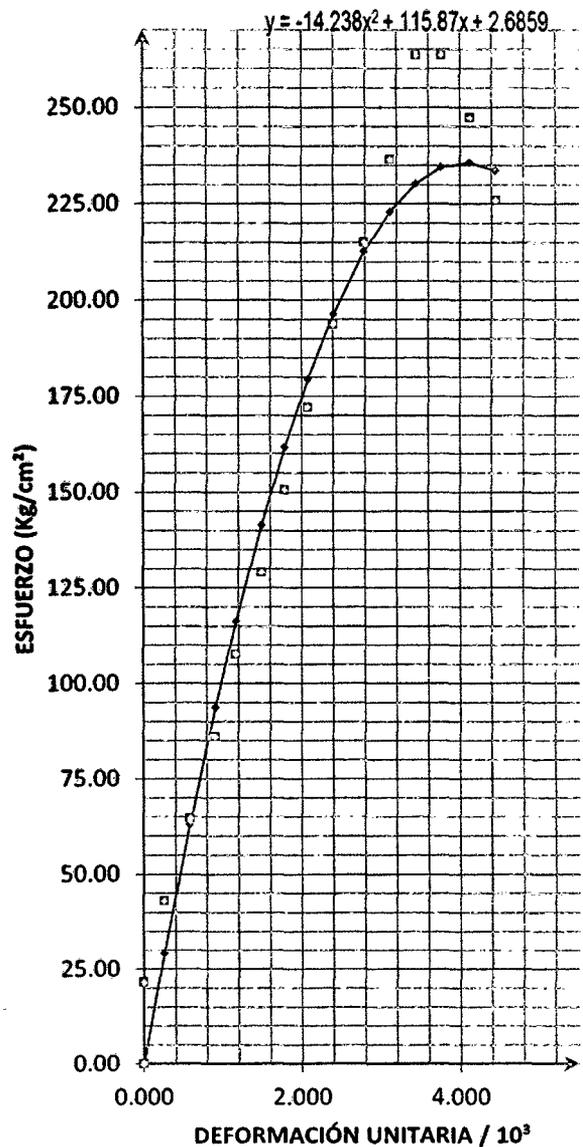
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION				
Consistencia: Óptima TM: 1/4" Muestra: 11				
Cemento: Pacasmayo Tipo Ico				
Edad:		28 días		
Fecha de elaboración:		22/12/2014		
Fecha de rotura:		19/01/2015		
Resistencia característica (kg/cm ²):		210		
Área de influencia (cm ²):		92		
Altura (mm):		840		
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit. / 10 ³	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo corregido (kg/cm ²)
0	0.000	0.00	0.00	0.00
2000	0.212	0.27	21.74	27.52
4000	0.477	0.60	43.48	59.75
6000	0.742	0.93	65.22	89.56
8000	0.954	1.19	86.96	111.67
10000	1.219	1.52	108.70	137.14
12000	1.458	1.82	130.43	158.01
14000	1.696	2.12	152.17	176.91
16000	1.961	2.45	173.91	195.62
18000	2.279	2.85	195.65	214.90
20000	2.544	3.18	217.39	228.30
22000	2.809	3.51	239.13	239.29
24000	3.074	3.84	260.87	247.87
24500	3.166	3.96	266.30	250.27
23000	3.331	4.16	250.00	253.88
21000	3.622	4.53	228.26	257.96
19000	3.810	4.76	206.52	259.04
Ecuación de la recta		Esf. = -10.996x ² + 106.76x - 15.351		
Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)		266.30		

Muestra Estampada N° 2
Esfuerzo Vs Deformación
del concreto f'c=210 kg/cm²



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION				
Consistencia: Óptima TM: 1/4" Muestra: 12				
Cemento: Pacasmayo Tipo Ico				
Edad:		28 días		
Fecha de elaboración:		22/12/2014		
Fecha de rotura:		19/01/2015		
Resistencia característica (kg/cm ²):		210		
Área de influencia (cm ²):		93		
Altura (mm):		870		
Carga (kg)	Deformación (mm)	Deformación Unit. / 10 ³	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo corregido (kg/cm ²)
0	0.000	0.000	0.00	0.00
2000	0.000	0.000	21.51	0.00
4000	0.208	0.260	43.01	29.16
6000	0.468	0.585	64.52	62.91
8000	0.728	0.910	86.02	93.65
10000	0.936	1.170	107.53	116.08
12000	1.196	1.495	129.03	141.40
14000	1.430	1.788	150.54	161.62
16000	1.664	2.080	172.04	179.41
18000	1.924	2.405	193.55	196.31
20000	2.236	2.795	215.05	212.63
22000	2.496	3.120	236.56	222.92
24500	2.756	3.445	263.44	230.20
24500	3.016	3.770	263.44	234.47
23000	3.302	4.128	247.31	235.69
21000	3.562	4.453	225.81	233.65
Ecuación de la recta		Esf. = $-14.238x^2 + 115.87x + 2.6859$		
Esfuerzo de rotura (kg/cm ²)		263.44		

Muestra Estampada N° 3
Esfuerzo Vs Deformación
del concreto f'c=210 kg/cm²



F. Tablas

Tabla N° 11. Husos granulométricos del agregado fino

TAMIZ	PORCENTAJE DE PESO (MASA) QUE PASA			
	LÍMITES TOTALES	*C	M	F
9.50 mm 3/8"	100	100	100	100
4.75 mm N°4	95-100	95 – 100	89 – 100	89 – 100
2.36 mm N°8	80-100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.18 mm N°16	50-85	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm N°30	25-60	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm N°50	10-30	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm N°100	2-10	2 – 10	0 - 12*	0 – 12

* Incrementar a 5% para agregado fino triturado, excepto cuando se use para pavimentos.-

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037- ASTM C 33

Tabla N° 12. Relación de las principales propiedades de los agregados con los aspectos del comportamiento del concreto

Características de los agregados	Aspectos influidos en el Concreto	
	Concreto Fresco	Concreto Endurecido
Granulometría	Manejabilidad Requerimiento de agua Sangrado	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Economía
Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros finos indeseables)	Requerimiento de agua Contracción plástica	Durabilidad Resistencia mecánica Cambios volumétricos
Densidad (gravedad específica)	Peso unitario	Peso unitario
Sanidad	Requerimiento de agua	Durabilidad
Absorción y porosidad	Pérdida de revenimiento Contracción plástica	Durabilidad Permeabilidad
Forma de las partículas	Manejabilidad Requerimiento de agua Sangrado	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Economía
Textura superficial	Manejabilidad Requerimiento de agua	Durabilidad Resistencia al desgaste Economía
Tamaño máximo	Segregación Peso unitario Requerimiento de agua	Resistencia mecánica Cambios volumétricos Peso unitario Permeabilidad Economía

Reactividad con los álcalis		Durabilidad
Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad Cambios volumétricos
Resistencia a la abrasión		Resistencia a la abrasión Durabilidad
Resistencia mecánica (por aplastamiento)		Resistencia mecánica
Partículas friables y terrones de arcilla	Contracción plástica	Resistencia mecánica Durabilidad Reventones superficiales
Coefficiente de expansión térmica		Propiedades térmicas

Fuente: Manual de tecnología del concreto, Comisión Federal De Electricidad (pág. 101)

Tabla N° 13. Principales componentes del cemento Portland

Cemento	C3S	C2S	C3A	C3AF	CaSO4	CaO Libre	MgO
Tipo I	59	15	12	8	2.9	0.8	2.4
Tipo II	46	29	6-8*	12	2.8	0.6	3.0
Tipo III	60	12	12-15*	8	3.9	1.3	2.6
Tipo IV	30-35*	40**-46	5-7*	13	2.9	0.3	2.7
Tipo V	43	36	4-5*	12	2.7	0.4	1.6

(*) Como máximo

(**) Como mínimo

Fuente: Tecnología del concreto, A.M Neville y J.J. Brooks

Tabla N° 14. Ajuste principal para brindar las características especiales al cemento

Tipo	Característica	Ajuste Principal
I	Sin características especiales	Sin ajustes específicos
II	Moderado calor de hidratación y resistencia a los sulfatos	Moderado C3A
III	Alta resistencia rápida	Alto C3S
IV	Bajo calor de hidratación	Alto C2S, moderado C3A
V	Alta resistencia a los sulfatos	Bajo C3A

Fuente: Manual de tecnología del concreto, Comisión Federal De Electricidad (pág. 19)

Tabla N° 15. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 < f'c < 35$	$f'cr = f'c + 8,5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,1 f'c + 5,0$

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE 060)

Tabla N° 16. Consistencia y asentamientos

Consistencia	Asentamiento	Trabajabilidad
Seca	0" a 2"	Poco trabajable
Plástica	3" a 4"	Trabajable
Húmeda	$\geq 5"$	Muy Trabajable

Fuente: "Diseño de mezclas" Enrique Rivva López

Tabla N° 17. Asentamientos recomendados para varios 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: ACI 211

Tabla N° 18. Límites de sustancia permisibles en el agua de mezcla o curado.

Descripción	Límites permisibles
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000 ppm máximo
Sulfatos (ión SO ₄ ⁻²)	600 ppm máximo
Cloruros (ión Cl ⁻¹)	1000 ppm máximo
pH	entre 5.0 y 8.0
De preferencia el agua a emplear debe ser potable.	
Fuente: Norma Técnica Peruana 339.088	

Tabla N° 19, Límites de sustancia permisibles en el agua de mezcla o curado no potable.

Descripción	Límites permisibles
Cloruros (ión Cl ⁻¹)	300 ppm máximo
Sulfatos (ión SO ₄ ⁻²)	300 ppm máximo
Sales de magnesio	150ppm máximo
Sales solubles totales	1500 ppm máximo
pH	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm máximo
Materia orgánica	10 ppm máximo
Fuente: Norma Técnica Peruana 339.088	

G. Imágenes:



Imagen 1. Terminal aéreo Simón Bolívar (TASBSA). Bogotá, Colombia

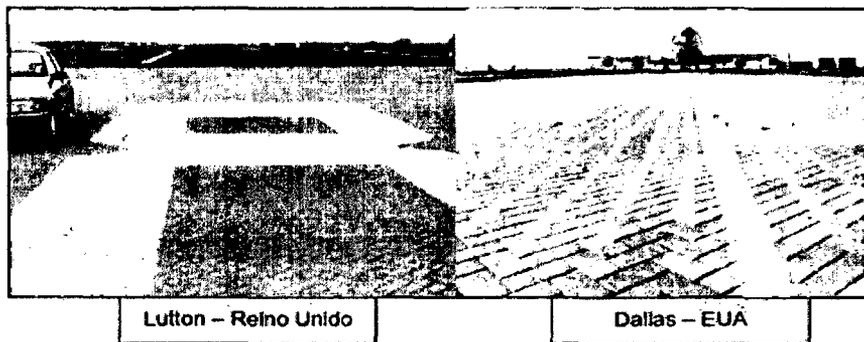


Imagen 2. Otras terminales aéreas

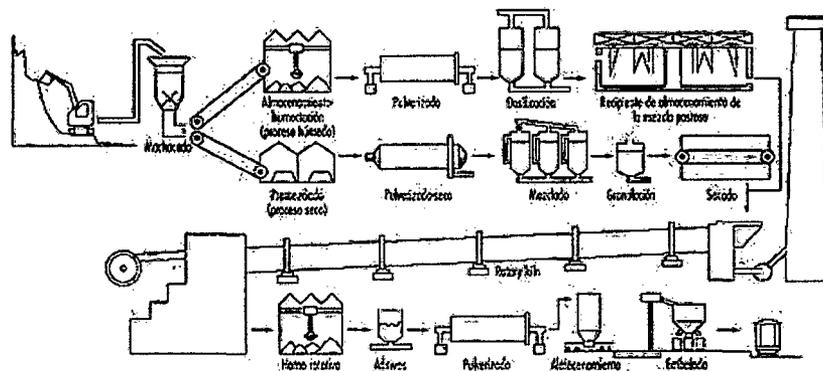


Imagen 03: Fabricación del cemento. Fuente www.estrucplan.com.ar

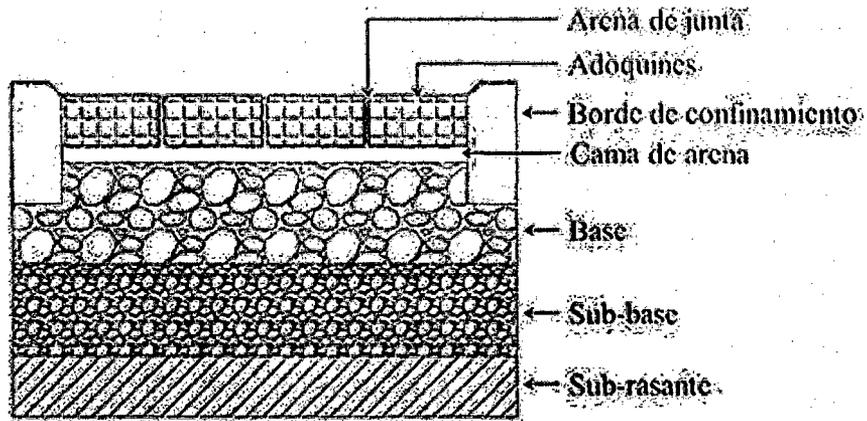


Imagen 04. Elementos Estructurales de un pavimento de adoquines (ASCE, 2010)

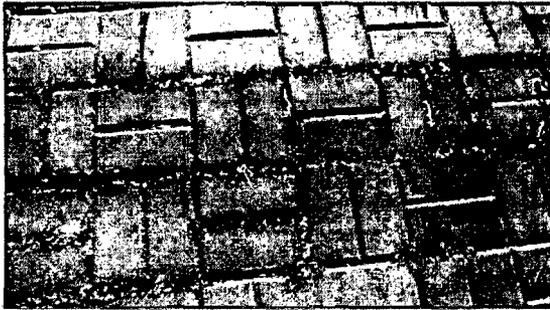


Imagen 05. Vegetales que modifican el adoquinado

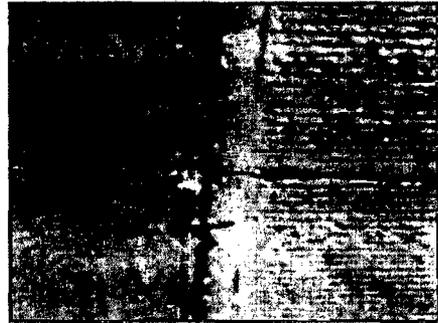


Imagen 06. Deficiencia del Sellado



Imagen 07. Juntas saltadas

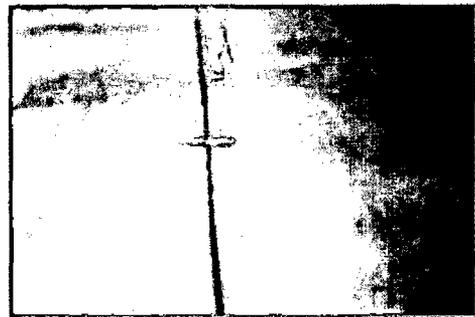


Imagen 08. Separación de la junta longitudinal.



Imagen 09. Fisura inducida de la junta

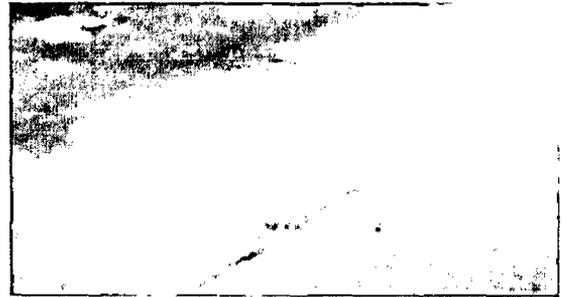


Imagen 10. Grieta de esquina



Imagen 11. Grietas Longitudinales

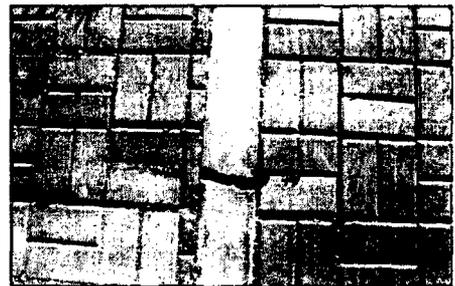


Imagen 12. Grieta Transversal



Imagen 13. Fragmentación múltiple.



Imagen 14. Fisuramiento por retracción



Imagen 15. Desintegración



Imagen 16. Hundimiento



Imagen 17. Bache

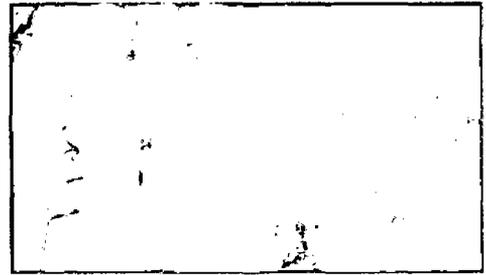


Imagen 18. Levantamiento Localizado

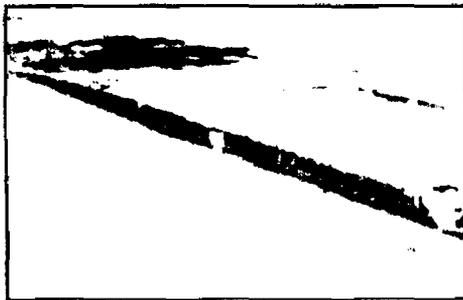


Imagen 19. Escalonamiento de juntas y grietas

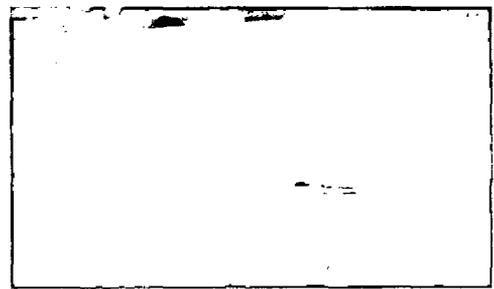


Imagen 20. Descenso de berma

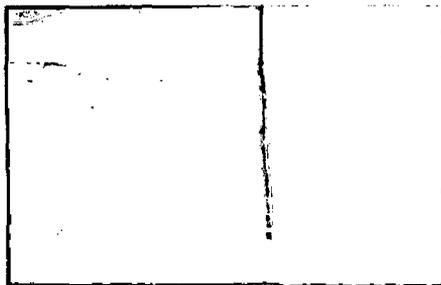


Imagen 21. Separación entre berma y pavimento

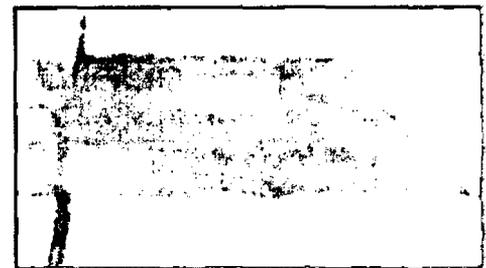


Imagen 22. Parche deteriorado

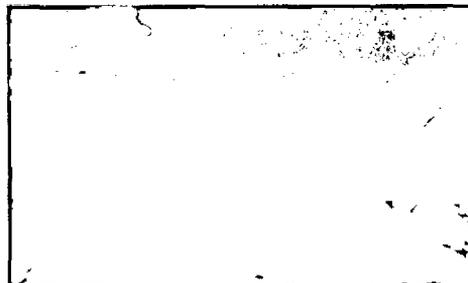


Imagen 23. Surgencia de finos

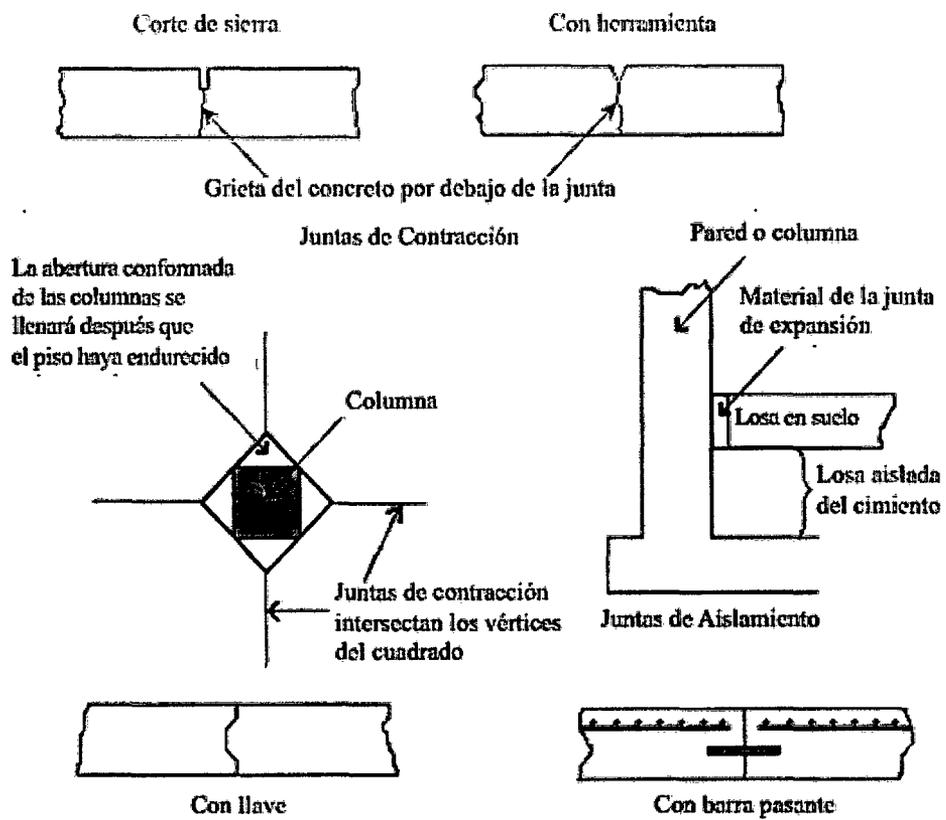


Imagen 24. Tipos de juntas de Construcción

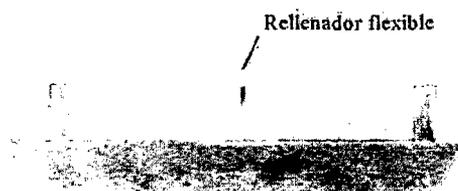


Imagen 25. Junta de control con un rellenedor flexible



Imagen 26. Encofrados de madera y estampadores metálicos con patrón de adoquines.

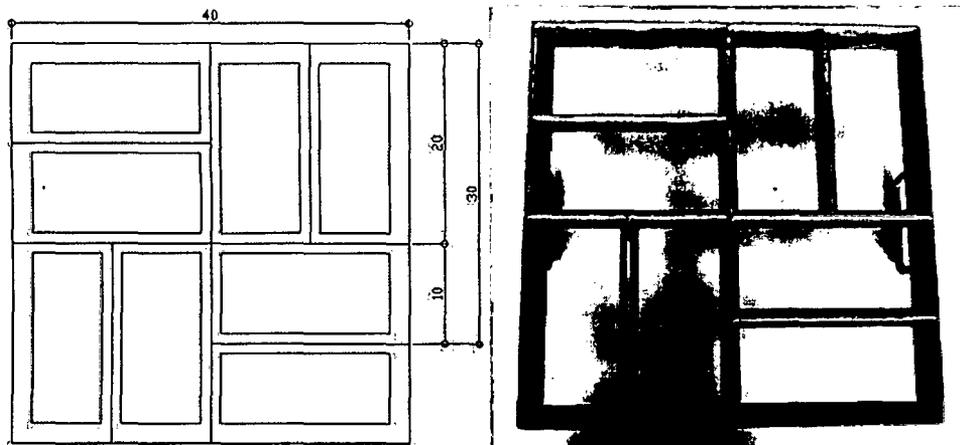


Imagen 27. Esquema y modelo del diseño de estampado metálico Tipo A

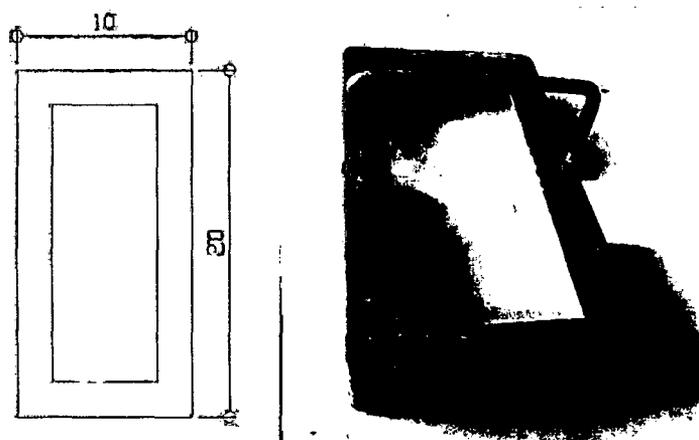


Imagen 28. Esquema y modelo del diseño de estampado metálico Tipo B



Imagen 29. Estampado del concreto por medio del diseño de impresión tipo A

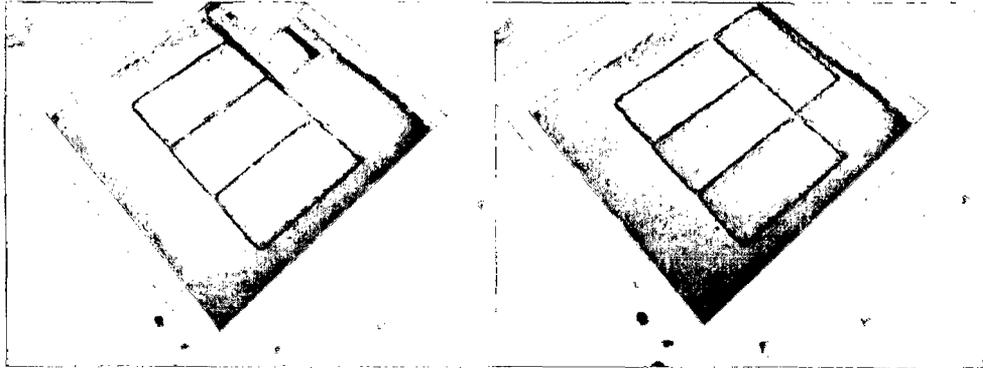


Imagen 30. Estampado del concreto por medio del diseño de impresión tipo B

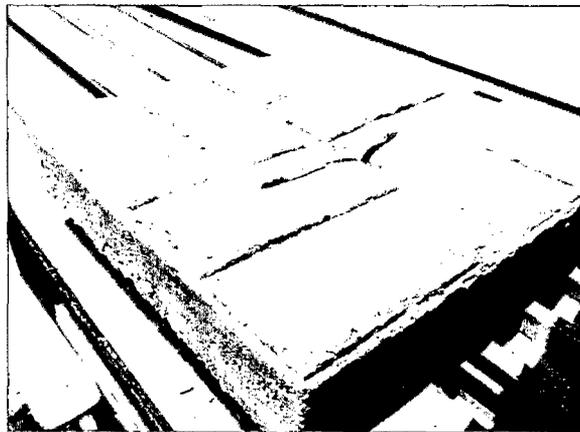


Imagen 31. Muestra tipo A con alabeo central por estampado



Imagen 32. Impresión húmeda a muestras para encontrar área de influencia a la presión establecida.

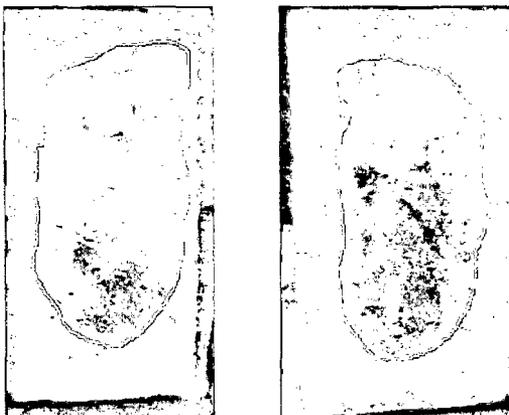


Imagen 33. Zona de influencia promedio, con un método de impregnación de humedad.

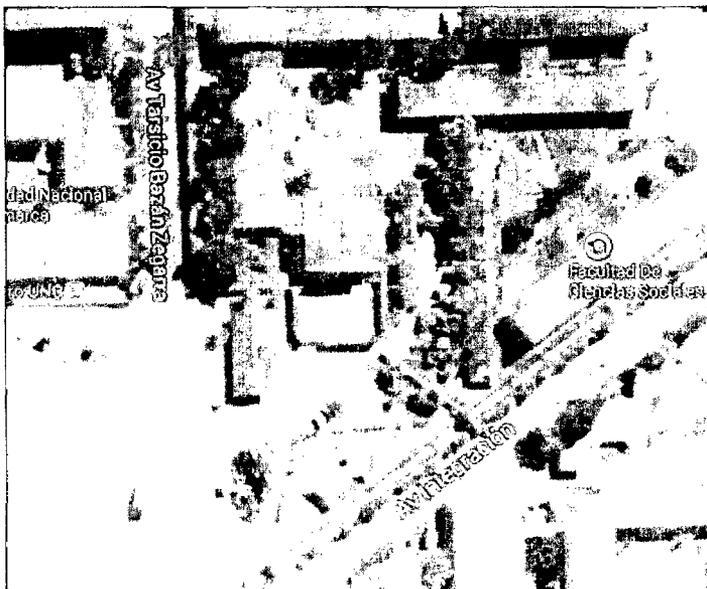


Imagen 34. Zona de la ubicación de los bloques de la muestra tipo A

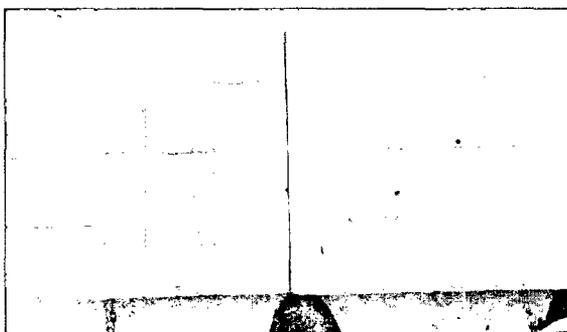


Imagen 35. Muestra estampada con el diseño impreso



Imagen 36. Muestra expuesta a la intemperie y carga de servicio



Imagen 37. Muestra tipo A expuesta a carga de compresión.

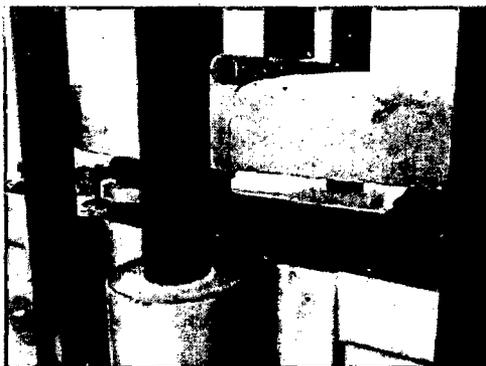


Imagen 38. Ensayo de muestra a flexión, carga aplicada en el eje de la muestra.



Imagen 39. Muestras en bloque expuestas a cargas de servicios



Imagen 40. Muestras del tipo A en el primer día de exposición.

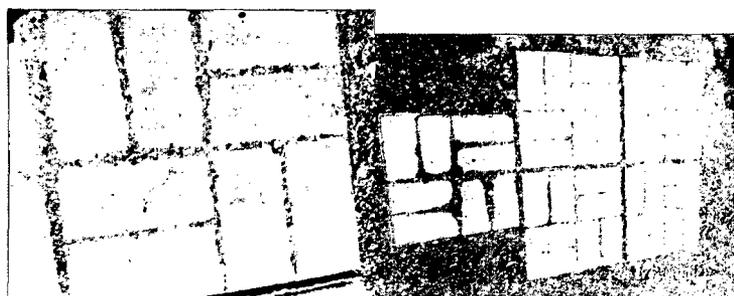


Imagen 41. Muestras sin patologías indicando el índice de durabilidad bueno

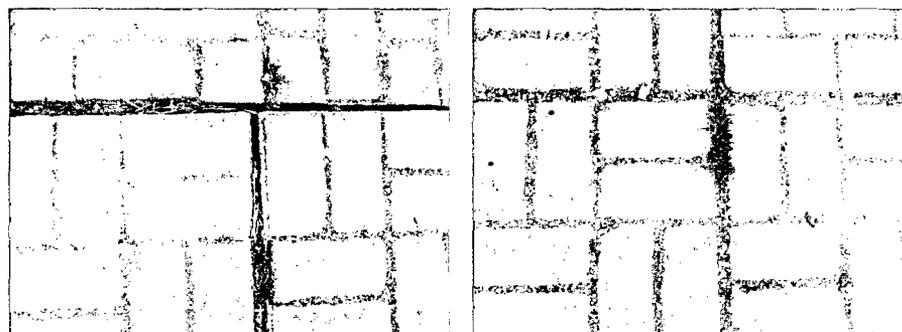


Imagen 42. Izquierda, Muestras del tipo A separadas y desniveladas. Derecha, crecimiento de vegetación en junta no impresa.

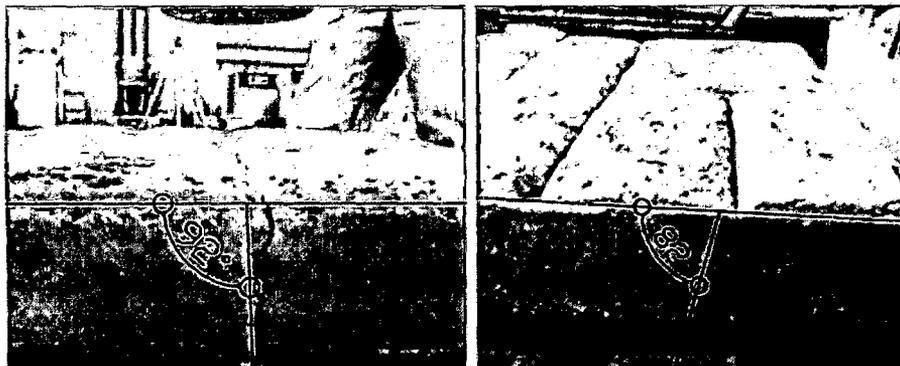


Imagen 43. Angulo de corte maximo y minimo hallados.



Imagen 44. Eje de la muestra aplicada a carga en la máquina de ensayo universal.



Imagen 45. Encofrado para losas de pavimento rigido de 3.20 m x 4 m del Jr. San Martín Cda. 9 de la ciudad de Chota - Cajamarca

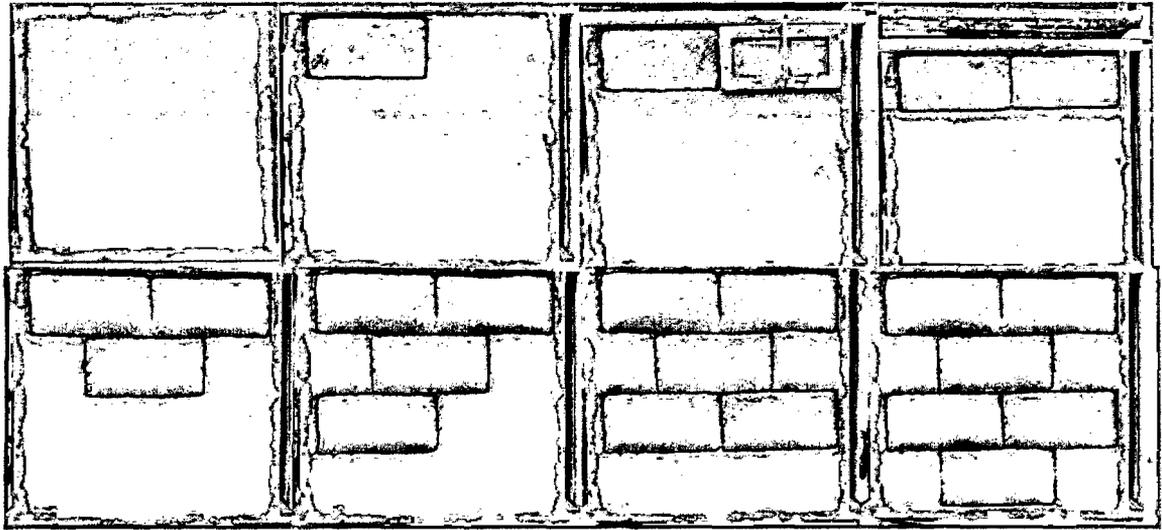


Imagen 46. Impresión del patrón adoquinado por continuidad

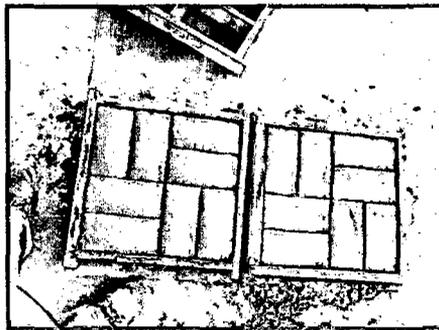


Imagen. 47 Muestras impresas con el equipo tipo A

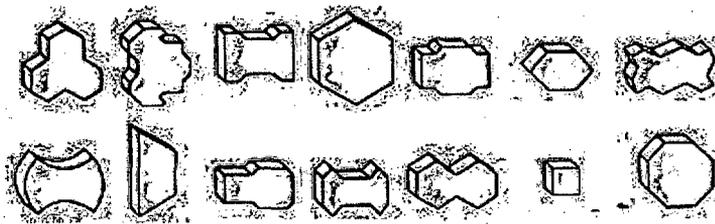


Imagen 48. Algunos tipos de unidad de figuras para pavimentos reticulados



Imagen 49. Unidades fusionadas en un patrón

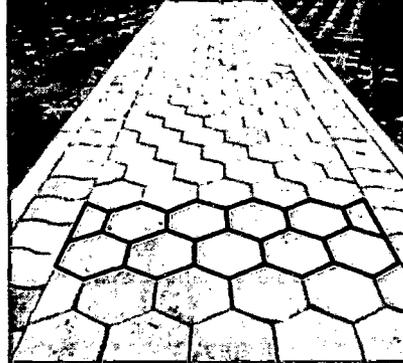


Imagen 50. En azul la delimitación de un patrón para estampado

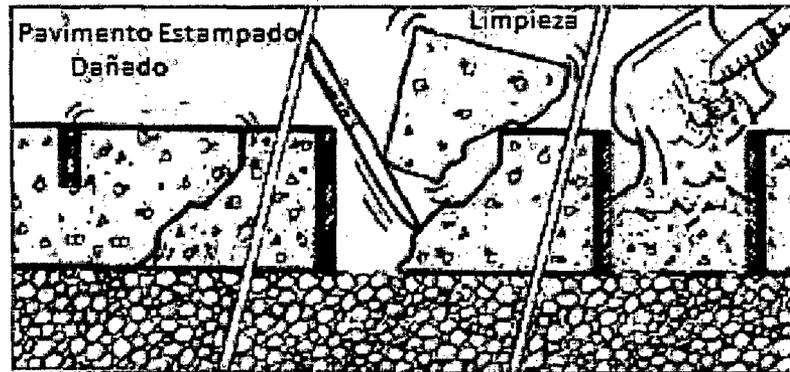


Imagen 51. Procedimiento de mantenimiento (Imagen modificada)

H. Panel Fotográfico

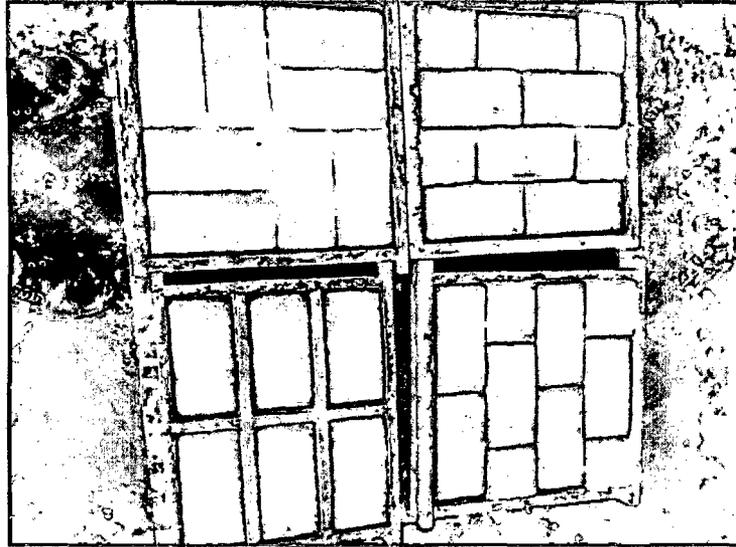


Foto 1. Muestras estampadas.

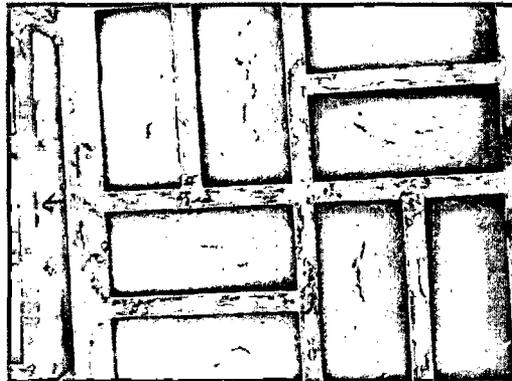


Foto 2. Proceso de estampado.



Foto 3. Rotura de muestras en prensa hidráulica

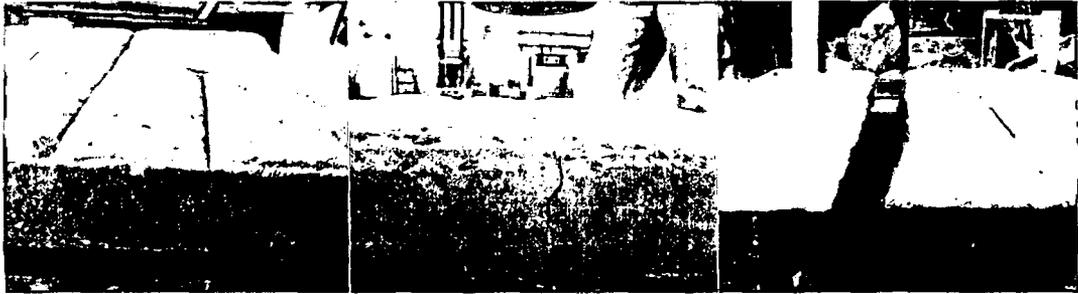


Foto 4. Fallas típica de corte en esfuerzo a compresión



Foto 5. Instalando muestras en zona de cargas de servicio

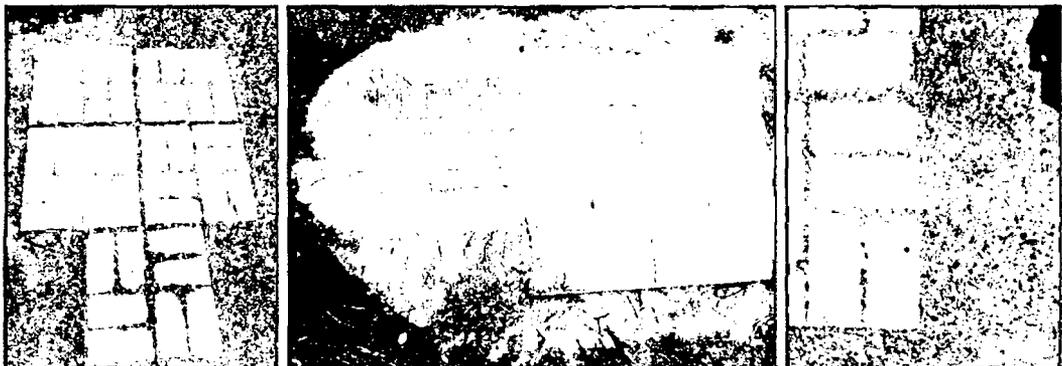
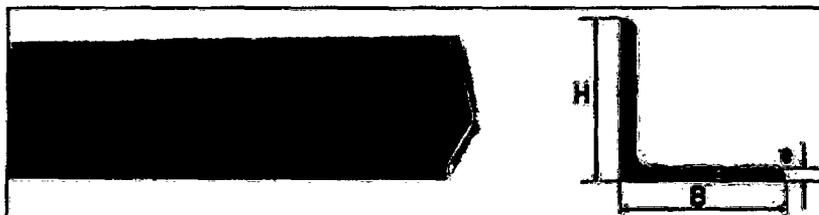


Foto 6. Muestras expuestas a cargas de servicio sin patología alguna

I. Especificaciones técnicas del perfil laminado SIDERPERU del estampador metálico.

ANGULOS DE ALAS IGUALES

Los Angulos son productos cuyos alos son iguales y forman un ángulo de 90° entre sí. Producidos con acero de bajo tenor de carbono, de acuerdo con la norma ASTM A36. Principales usos: estructuras metálicas, torres de transmisión de energía eléctrica y de telecomunicaciones, cerrajería, máquinas e implementos agrícolas y en la industria mecánica en general.



DIMENSIONES NOMINALES

Dimensiones H x B x e	Masa	Sección
mm x mm x mm	kg/m	cm ²
20x20x3	0,879	1,12
25x25x3	1,12	1,43
25x25x5	1,78	2,27
30x30x3	1,36	1,74
30x30x5	2,18	2,78
40x40x3	1,84	2,35
40x40x4	2,42	3,08
40x40x5	2,97	3,79

Dimensiones H x B x e	Masa	Sección
mm x mm x mm	kg/m	cm ²
40x40x6	3,52	4,48
50x50x3	2,33	2,96
50x50x4	3,06	3,89
50x50x5	3,77	4,80
50x50x6	4,47	5,69
65x65x5	4,97	6,34
65x65x6	5,91	7,53

PERFILES T

Barros con sección transversal en forma de "T". Producidos con acero de bajo tenor de carbono, de acuerdo con la norma ASTM A36. Son utilizados en carpintería metálica, máquinas, estructuras metálicas, implementos agrícolas, etc.

DIMENSIONES NOMINALES

Sección	Longitud
20mm x 20mm x 3mm	6 m
25mm x 25mm x 3mm	6 m
1 1/4" x 1 1/4" x 1/8"	6 m
1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"	6 m
1 1/2" x 1 1/2" x 3/16"	6 m
2" x 2" x 1/4"	6 m

Se suministra regularmente en largos de 6 metros.
Composición Química y Propiedades Mecánicas de acuerdo a ASTM A36/A36M-01 "Standard Specification for Structural Steel".
Otros grados de acero y dimensiones pueden ser suministrados previa consulta.

Fuente: SIDERPERU

J. Especificaciones técnicas del cemento usado:



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Colonia Nro 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
 Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
 Versión 01

CEMENTO EXTRAFORTE
Cemento Portland Compuesto Tipo ICo

Conforme a la NTP 334.090
 Pacasmayo, 13 de febrero 2015

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	2.5	Máximo 6.0
SO3	%	2.4	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	5	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.07	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	5940	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	5.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.96	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm ²)	24.3 (247)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm ²)	30.3 (309)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (kg/cm ²)	37.4 (382)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	134	Mínimo 45
Fraguado Final	min	296	Máximo 420

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-01-2015 al 31-01-2015.
 La resistencia a compresión a 28 días corresponde al mes de diciembre 2014.

Ing. Ivanoff Rojas
 Superintendente de Control de Calidad

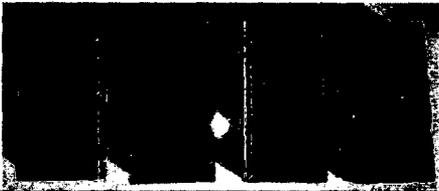
Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

Fuente: DINO Pacasmayo

K. Especificaciones técnicas de bloque de un adoquín



Descripción	Los adoquines de concreto son una alternativa cada vez más usada en pavimentos peatonales y vehiculares.	
Características	<ul style="list-style-type: none"> Todas las características del Adoking Koncreto® están de acuerdo a la norma técnica peruana 399.611 "Adoquines de concreto para pavimentos". 	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Aspecto estético atractivo. Fácil mantenimiento. Variedad de colores. 	
Usos	<ul style="list-style-type: none"> Pavimentos peatonales: veredas, plazas, parques, boulevards. Pavimentos vehiculares ligeros y pesados: Estacionamientos y accesos, vías urbanas, patios de contenedores en puertos, entre otras. 	
Tipos	<ul style="list-style-type: none"> Pavimentos Peonales: 4 y 6 cm. Vehicular Ligero: 6 cm. Vehicular Pesado: ≥ 8 cm. 	
Diseño	<p>Rectangular u "Holandés"</p> 	<p>Estriado o "Londres"</p> 
Medidas en cm	<ul style="list-style-type: none"> Ancho: 10 Espesor: 4, 6 y 8 Largo: 20 	<ul style="list-style-type: none"> Ancho: 11.25 Espesor: 4 y 6 Largo: 22.50
Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> 50 unid/m² 	<ul style="list-style-type: none"> 40 unid/m²
Colores	Gris/natural, rojo, negro, amarillo, gris claro y otros a pedido.	Gris/natural, rojo, negro, amarillo, gris claro y otros a pedido.