

"AÑO DE LA PROMOCIÓN DE LA INDUSTRIA RESPONSABLE Y DEL COMPROMISO CLIMATICO"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - CIVIL
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



V° B°
[Handwritten signature]

TESIS

"INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"

**LINEA DE INVESTIGACIÓN:
CIENCIAS DE LOS MATERIALES**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:
Bach. DE LA CRUZ MERCADO, Wilmer Rolando
Bach. QUISPE CCAHUIN, Walter Reynan**

**ASESOR:
Ing. URIEL NEIRA CALSIN
HUANCVELICA - 2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
CENTRO DE SE DE LA PRESENTE A COMPAÑIA
DE LA UNICIÓN DEL TÍTULO A LA VISTA.

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS



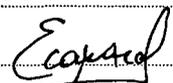
31

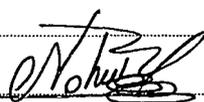
En el Paraninfo de la facultad de Ingeniería Minas - Civil de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil - Lircay, a las tres Pasado Meridiano, Se Instaló los Miembros del Jurado, en base a la Resolución de Consejo de facultad N° 068-2014-FIM-UNH, de fecha veinti ocho de abril del dos mil catorce, En el cual se Resuelve:

Artículo Primero: Aprobó la hora y fecha Para la Sustentación de Tesis de Título Profesional de Ingeniero Civil a desarrollarse el día siete de mayo del dos mil catorce, a horas tres pasado meridiano de acuerdo a las siguientes especificaciones: Título del Proyecto "Influencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos en la construcción de Pistas en la Provincia de Huamanga - Pucallpa", Responsables del Proyecto: Bach. DE LA CRUZ MERCADO, Wilmer Rolando, Bach. QUISPE CASHUA Walter Reynan; Deseo Ing. NEIRA CALSA URIEL; Jurados: Ing. ENRIQUE R. CAMAC OJEDA (Presidente) Ing. DENACION ALBUCA, MEDINA CLAUDIO (Secretario), Ing. MOYER Z. NASHU GASPAR (Vocal). con la finalidad de evaluar la sustentación de tesis referida: inmediatamente se procedió con la Intervención del Presidente, Quien dió las instrucciones correspondientes, dando a conocer a los Tesisar el tiempo de duración de treinta minutos de sustentación y posterior el inicio de la misma. Terminada la sustentación se procedió con la formulación de las Preguntas Pertinentes de los Jurados; por cuales fueron Absueltos y sustentados.

Seguidamente los miembros del jurado después de un debate amplio se Resuelve: Aprobó por mayoría la tesis Materia de la Sustentación Siendo Horas cinco Pasado meridiano del día siete de mayo del año dos mil catorce, y en señal de conformidad firman al pie los miembros del jurado


Ing. Miguel Medina
Secretario


ING. E. CAMAC O.
Presidente


ING. NASHU GASPAR P.
VOCAL.

Grafiresa

A Dios, Por acompañarme siempre,
A mis padres, Aurelia y Leoncio en
virtud a su inagotable labor por forjar
el futuro de sus hijos,
A mis hermanos, Wilder, Carlos y
Miryam, por su cariño y apoyo.

WALTER

A mis queridos padres, Gregorio De la
Cruz y Francisca Mercado por apostar
en mi desarrollo profesional.

Así mismo a mis hermanas Erlinda y
Liliana que han sumado los esfuerzo
por mi realización profesional.

WILMER

151

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional de Huancavelica y todos los Catedráticos de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil.
- Al Ingeniero Uriel Neira Calsin, la especial gratitud por su tiempo, paciencia, orientación y contribución a la elaboración del presente trabajo.
- Al Ingeniero Miguel Medina Champe, por su paciencia, confianza y su atinada orientación.
- Así mismo, expreso mi gratitud a todas las personas, que me brindaron su apoyo y colaboración en la ejecución y desarrollo de este trabajo.

INDICE

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Índice	iii
Resumen	vi
Introducción	vii

CAPITULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
1.3. OBJETIVOS	12
1.3.1. Objetivo General	12
1.3.2. Objetivos Especificos	12
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	12

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	15
2.1.1. A nivel Nacional	16
2.1.2. A nivel Internacional	16
2.2. BASES TEÓRICAS	18
2.2.1. La tecnología del concreto y sus antecedentes en el Perú	18
2.2.2. Conceptos generales sobre el concreto	19
2.2.3. Pavimentos	21
2.2.4. Concreto reforzado con fibras	26

249

2.2.5.	Diseño de mezcla del concreto	41
2.2.6.	Diseño factorial general	49
2.3.	HIPÓTESIS	51
2.4.	VARIABLES DE ESTUDIO	51
2.4.1.	Variable independiente	51
2.4.2.	Variable dependiente	51
2.4.3.	Definición operativa de variables e indicadores	52

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.	ÁMBITO DE ESTUDIO	53
3.2.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	53
3.3.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	53
3.4.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	53
3.5.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	54
3.6.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	54
3.6.1.	Población	54
3.6.2.	Muestra	55
3.7.	TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	55
3.7.1.	Técnica	55
3.7.2.	Instrumento	56
3.8.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	56
3.9.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	57
3.9.1.	Técnicas de procesamiento	57
3.9.2.	Análisis de los datos	57

128

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	58
4.1.1. Propiedades de los materiales	58
4.1.2. Método de diseño utilizado y especificaciones técnicas asumidas para realizar los ensayos del concreto	67
4.1.3. Ensayos del concreto fresco	75
4.1.4. Ensayos del concreto endurecido	81
4.1.5. Evaluación de la influencia de adición de fibra de acero en las propiedades mecánicas del concreto	94
4.1.6. Diseño de la estructura del pavimento	98
4.2. DISCUSIÓN	113
4.2.1. Prueba de Hipótesis	113
4.2.2. Planteamiento de Hipótesis:	113
4.2.3. Nivel de significancia (α) y nivel de confianza	113
4.2.4. Análisis estadístico de la influencia de adición de fibra de acero en las propiedades mecánicas del concreto	114
Conclusiones	118
Recomendaciones	120
Referencia Bibliográfica	122
Anexos	124

WZ

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como principal objetivo estudiar la influencia de la incorporación de fibra de acero en las propiedades mecánicas del concreto. Para llevar a cabo la investigación se realizaron ensayos comparativos entre un concreto patrón (dosificación sin fibra de acero) y concreto reforzado con fibras de acero (SFRC).

El propósito de esta investigación fue desarrollar una guía de diseño de concreto reforzado con fibras de acero (SFRC) aplicado a pavimentos, debido a las ventajas que se obtienen en la construcción y operación de estas estructuras por el uso de este material. Para ello, el trabajo se dividió en dos fases: una investigación bibliográfica que determinó la metodología de diseño y una investigación experimental para corroborar los conceptos inherentes al uso del SFRC y a su vez, comprobar los parámetros de diseño existentes en diferentes especificaciones técnicas de fibras metálicas.

En el caso de la investigación bibliográfica, se procedió a realizar un análisis de los códigos de diseño existentes para el diseño de pavimentos para diseño de losas apoyadas en suelo y para el uso de SFRC, respectivamente.

La investigación experimental desarrollada se basó en determinar utilizando una resistencia de concreto específica ($f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) con tamaño máximo nominal de agregado de 1" y un tipo de fibra (Wirand @ FF1) en probetas cilíndricas y prismáticas (tipo viga), con el objetivo de comprobar el comportamiento mecánico de estos elementos y determinar si los datos de las especificaciones técnicas tienen validez. Para la

investigación experimental (confección de especímenes, desarrollo del ensayo experimental y la recopilación de datos) se utilizaron las metodologías de ensayo: ASTM C39 "método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto" y ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) que consiste en ensayar una probeta de sección prismática de 15 cm. x 15 cm. x 50 cm., apoyándola sobre dos soportes rotulados separados 45 cm. y aplicando carga a los tercios de la luz libre (a 15 cm. de cada extremo) falladas a flexión.

Las propiedades que se estudiaron de cada mezcla, tanto la mezcla patrón (dosificación sin fibras metálicas) como concreto reforzado con fibras metálicas fueron la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión. Los valores obtenidos en las probetas moldeadas reflejan un aumento en las propiedades mecánicas del concreto con fibras utilizado.

La investigación desarrollada procuró analizar las diferentes metodologías que existen para el diseño de elementos de concreto reforzado con fibras de acero aplicado a pavimentos, con el objetivo de poder establecer, mediante investigación bibliográfica y experimental, un mejor entendimiento del comportamiento de este material para mejorar la eficiencia en el uso del SFRC y lograr una reducción de costos, tanto de implementación como de construcción de estos elementos.

INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, el hombre ha ido perfeccionando los materiales de construcción para mejorar su condición de vida en la sociedad. Así fue como empezó a añadir paja a los bloques de adobe, pelos de caballo a la mampostería de mortero, entre otras técnicas de construcción que se remontan a tiempos memorables.

En la actualidad, las fibras de acero son usadas como el principal refuerzo para losas de piso industriales, segmentos de túneles, dovelas prefabricadas y cada día se revela como el mejor producto para carreteras que soportan tráfico pesado. El concreto armado con fibras, es el concreto formado por un conglomerado hidráulico, generalmente cemento portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras discontinuas y discretas. La incorporación de fibras de acero, ha demostrado ser un medio eficaz para mejorar la tenacidad del material, aumentar su resistencia y su capacidad de deformación y controlar el desarrollo y la propagación de fisuras.

El comportamiento mecánico de elementos de concreto reforzado con fibra metálica (SFRC) es significativamente distinto al de elementos de concreto convencional; aspectos como el módulo de ruptura, el agrietamiento por temperatura, el tamaño máximo de grieta ante cargas, el mecanismo de colapso y el comportamiento esfuerzo-deformación, entre otros, son algunos de los parámetros que presentan diferencias significativas. El uso de fibras metálicas como refuerzo en el concreto conlleva ventajas de resistencia y durabilidad, tales como aumento en la ductilidad del elemento, mejora en la resistencia a cortante y flexión, mayor capacidad para absorber energía y disminución del tamaño y número de grietas en la superficie.

100

La proporción adecuada de estas fibras es la que aporta al concreto un mayor o menor refuerzo, que se traduce en una mejora en sus características de tenacidad, control de fisuración y resistencia a flexotracción. La respuesta mecánica del concreto reforzado con fibras depende de las dimensiones y de la cantidad de fibras incorporada a la matriz. La inclusión de fibras de 25 a 50 mm de longitud, en cantidades menores del 2% en volumen, constituye la aplicación más frecuente en el campo de las estructuras de la ingeniería civil. Para el caso del concreto su aplicación se ha ido consolidando en los últimos tiempos, especialmente en la construcción de pavimentos, estructuras hidráulicas, túneles, tabiques, estructuras lineales y estructuras sometidas a acciones dinámicas.

Por ello se requiere de una metodología de diseño para elementos de SFRC que reconozca las ventajas que se obtienen de conocer el comportamiento mecánico específico de este material, y que brinde una solución integral al diseño de este y sus aplicaciones en el ámbito comercial. Se reconoce que la mayor aplicación del concreto reforzado con fibras como elemento estructural se presenta en la construcción de contrapisos para uso industrial, esto debido al gran ahorro que se obtiene en el plazo de construcción y en los costos de mano de obra de este tipo de estructuras, pues se logran colar paños que cubren áreas hasta cinco veces mayores en comparación con los de concreto convencional y además, se obtienen mejoras en características de resistencia y desempeño durante el periodo de vida útil del proyecto.

La hipótesis manejada es el aumento de la resistencia a la tensión del concreto y disminución de agrietamiento. En este caso se desarrolló una investigación experimental para la comprobación y el análisis del comportamiento a flexión de elementos de concreto reforzado con fibra metálica (SFRC), y se realizó una investigación bibliográfica para determinar las ventajas y desventajas del uso de las distintas metodologías de diseño de pavimentos (dado que esta es la aplicación más factible para el SFRC) con el objetivo de proveer una guía de diseño segura y funcional que pueda ser utilizada por distintos profesionales y de esta manera, contribuir con la implantación de nuevas tecnologías en el mercado para mejorar la productividad y la competitividad en la construcción de este tipo de estructuras.

del 8

CAPÍTULO I

PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La monotonía y la estandarización del uso de elementos del concreto convencional en el diseño de los pavimentos rígidos, viene siendo hasta nuestros días la alternativa de solución en nuestro país y con mayor intensidad en los pavimentos que requieren las zonas precarias del desarrollo urbano, siendo este un problema en nuestro medio por la falta de la aplicación de los conocimientos y métodos actuales, y dando como resultado la insatisfacción de los gobiernos locales y la población usuaria con la corta duración de los pavimentos rígidos, pese a la inversión requerida y ejecutada no se logra el objetivo trazado, siendo esta de uso temporal debido a la falta de resistencia a flexión del concreto; generando el deterioro prematuro de los pavimentos rígidos.

Los profesionales en Ingeniería debemos tomar plena conciencia del rol determinante del concreto en el desarrollo nacional, considerando aspectos técnicos inherentes del mismo, así cuando se construyen estructuras de concreto deben cumplir con los requisitos de calidad, seguridad y vigencia en el tiempo (vida útil) que se espera de ellas.

El Concreto, es un material pétreo artificial que se obtiene al mezclar en determinadas proporciones cemento, agregados gruesos y finos, con agua; éste junto con el agua forman una pasta que rodea a los agregados, dando por resultado un material de gran durabilidad que fragua y endurece, incrementando su resistencia con el paso del tiempo. El concreto simple es resistente a la compresión, pero es débil a tracción, por lo cual se debe armar convenientemente con barras de acero que

142

absorben los esfuerzos de tracción y evitan la formación de grietas en la masa del concreto (Fratelli,1998). Una característica general del concreto es su agrietamiento por alteraciones volumétricas. Pero esta adición de barras de acero incrementaría en gran escala el costo del proyecto siendo imposible recurrir a esta solución. Sin embargo hoy en día se cuenta en el mercado con fibras de acero que al adicionar a la mezcla de concreto, distribuidas en forma discontinua y aleatoria, ayuda a controlar el fenómeno, evitando la concentración de grietas. (Porrero et al., 2.009). Frente a la falta del comportamiento dúctil del concreto, la falta de resistencia al corte, a la fatiga, al impacto de cargas repetidas en el pavimento rígido y en búsqueda de obtener un concreto con estas capacidades a un alto costo. dando origen al presente estudio adicionando Fibras de acero al concreto empleado para pavimentos rígidos en la obra construcción de pistas en la provincia de huamanga, las cuales son filamentos de acero trefilado, deformados y cortados en determinadas longitudes para el refuerzo del hormigón, mortero u otros materiales compuestos. Al usar fibras metálicas de alta relación de esbeltez se puede reducir el espesor de la losa incrementando el espaciamiento entre juntas de dilatación, reduciendo así los tiempos de obra y ahorro en los costos de concreto por la reducción de espesores. Durante la elaboración del presente trabajo se utilizará Fibras Metálicas, las cuales son filamentos de acero, deformados y cortados en determinadas longitudes para el refuerzo del hormigón, mortero u otros materiales compuestos. Al usar fibras metálicas de alta relación de esbeltez se puede reducir el espesor de la losa incrementando el espaciamiento entre juntas de dilatación, reduciendo así los tiempos de obra y ahorro en los costos de concreto por la reducción de espesores. Por otra parte dicha fibra posee una serie de características importantes entre las cuales se destacan: (1) Filamentos de alambre estirados en frío, cortados y deformados; (2) Pueden ser de bajo o alto contenido de carbono; (3) Brillante, Galvanizado o Acero Inoxidable. Las tres ventajas del concreto con fibra metálica son: (1) concreto dúctil con una gran cantidad de soporte de carga, las fibras encoladas en peines se pueden trabajar y mezclar muy fácilmente, su forma alargada y fina ofrece beneficios en la repartición del refuerzo; (2) Control eficaz de fisuras, los extremos de las fibras metálicas están adaptados para hacer posible un buen anclaje y una fisuración controlada; (3) Alta resistencia a tracción, se fabrican

2011

con alambre de acero trefilado en frío de alta calidad, a fin de garantizar elevada resistencia a la tracción. La Provincia de Huamanga cuenta con limitada capacidad de recursos físicos y financieros para atender las demandas de todos los requerimientos de las poblaciones urbanas, la oferta respecto a proyectos de infraestructura vial y de ornato aún es insuficiente por la falta de promoción y disponibilidad presupuestal. Esta situación es reflejo del estado actual de las vías urbanas, situación que viene a ser resultado de la poca importancia que otorgo el gobierno local a estos barrios que están comprendidos dentro de la zona urbana, donde se ubican las oficinas institucionales que brindan atención a la población.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el deseo de dar a conocer las alternativas a fin de optimizar en los diseños de pavimentos rígidos, planteamos como una alternativa de solución, formulando:

¿Cómo influye la adición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos rígidos en la construcción de pistas en la Provincia de Huamanga – Ayacucho?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Determinar la influencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos rígidos en la construcción de pistas en la Provincia de Huamanga – Ayacucho.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento del concreto convencional empleado en la obra en estudio.
- Analizar el comportamiento del concreto con la adición de fibras de acero en el concreto propuesto.
- Determinar las ventajas técnicas del empleo de concreto con adición de fibras de acero con respecto al concreto empleado en la obra en estudio.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La participación del ingeniero debe justificarse con la optimización máxima de los insumos que se emplean en el concreto, economizando así la producción de este material de construcción sin descuidar su calidad final y su periodo de duración.

Los materiales aglomerantes, en la forma de hormigones o morteros, son atractivos para su uso como materiales de construcción, dado su bajo costo, su durabilidad y su adecuada resistencia a la compresión para un uso estructural. Adicionalmente, en el estado fresco ellos son fácilmente moldeables a las formas más complejas que sean requeridas. Su defecto radica en sus características de baja resistencia a la tracción y a los impactos, y a su susceptibilidad a los cambios de humedad. Un reforzamiento mediante fibras puede ofrecer un conveniente, práctico y económico método para superar estas deficiencias.

La adición de fibras de acero como refuerzo de hormigones, morteros y pasta de cemento pueden incrementar muchas de las propiedades de éstos, destacando entre ellas, la resistencia a la flexión, tenacidad, fatiga, impacto, corte, permeabilidad y resistencia a la abrasión. Uno de los Aspectos principales que nos motiva a realizar el presente estudio, es el Estado Actual de las calles pavimentadas con fallas de corte debido a la falta de resistencia al corte que es primordial en la construcción de pisos, tanto de uso industrial y comercial. El Estado Actual de las vías Vehiculares que comprenden el perímetro de la Provincia y de sus calles principales se encuentran deteriorados, presentan calzadas de pavimento rígido en condiciones de transitabilidad deficientes cuya superficie presenta fallas del tipo piel de cocodrilo, fisuras y hundimiento de la estructura del pavimento, y con cortes y parches originado por la ejecución de proyectos de saneamiento, el constante uso sin el adecuado mantenimiento de estas vías, y sin el estudio adecuado han producido deterioro de la calzada vehicular, imposibilitando y obstaculizando el tránsito de los Pobladores y turistas, así mismo genera impacto ambiental negativo en la población puesto que los vehículos generan polvo y acumulación de aguas pluviales afectando así a los turistas, niños, madres, ancianos y genera enfermedades Gastrointestinales y Bronquiales. Las fallas continuas y comunes por la falta de absorción de energía del

concreto, acción que al adicionar las fibras metálicas mejoran considerablemente el comportamiento dúctil (flexural toughness) del concreto, es decir la capacidad de redistribuir esfuerzos en la masa. Esta absorción de energía prácticamente ofrece una mayor capacidad de carga al concreto, por lo que en muchos casos el incorporar fibras metálicas permite disminuir el espesor de los pisos de concreto. Por tanto al reducir el espesor del concreto se tendrá también una reducción del costo actual del proyecto en estudio, garantizando su comportamiento y tiempo de servicio (vida útil). Gracias a la distribución de esfuerzos en la masa de concreto que se logra con la incorporación de las fibras metálicas, se observa un incremento significativo a la resistencia a la fatiga a un mayor número de repeticiones de carga, de 1.2 a 2 veces más de las que el concreto simple soporta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Nuestro país, el Perú, tiene como una constante la alta sismicidad y una geografía variada y difícil, lo cual exige a los ingenieros a construir obras de concreto y diseñar mezclas más adecuadas para cada caso. La Provincia de Huamanga al igual que el resto de las localidades de la región Ayacucho cuentan con limitada capacidad de recursos físicos y financieros para atender las demandas de todos los requerimientos de las poblaciones urbanas, la oferta respecto a los proyectos de infraestructura vial y el ornato aún es insuficiente por la falta de la investigación y aplicación de nuevas tecnologías, promoción y disponibilidad presupuestal. Esta situación es reflejo del estado actual de las vías urbanas, situación que viene a ser resultado de la poca importancia que otorga el gobierno local a las calles que están comprendidos dentro de la zona urbana.

En la actualidad a nivel mundial de aproximadamente un siglo de conocimientos científicos sobre el concreto y sus componentes nos provee de las herramientas para afrontar y solucionar la mayoría de los problemas y dificultades en la industria de la construcción contemporánea.

Pese a que el concreto es un material con el que debe enfrentarse el profesional de Ingeniería, existe una falencia en la actualización y aplicación de los Cálculos y Diseños Estructurales que cada vez más son complejos y refinados, necesarios y fundamentales, pero en la mayoría de los casos pierde su eficacia y trascendencia

cuando en la ejecución de obras se suman errores y deficiencias por ignorancia de los conceptos que gobiernan el concreto.

2.1.1. A nivel Nacional

Las aplicaciones del concreto con adición de fibras de acero son:

- Construcción de la tienda Sodimac Perú S.A mega plaza del cono norte Lima – Perú (2005), por la Empresa Transnacional Española LV Salamanca por medio de su Subsidiaria LV Salamanca Ingenieros Perú S.A.C.
- Construcción del taller de mantenimiento de maquinarias – chungar Pasco – Perú (2006), por Empresa Administradora Chungar S.A.C.
- Pavimentación del pasaje Bustamante Ucayali – Perú (2006), por la Empresa Constructec S.R.L.
- Pavimentación del jirón Eglinto Ucayali – Perú (2007), por el Consorcio Selva Alta en ejecución de la 2° Etapa.
- Construcción de Losa de almacén de la Empresa Ransa S.A. Lima – Perú (2007), por el ingeniero German Vivar Romero.
- Construcción de Losa de almacén de la Empresa Owen Illinois Lima – Perú (2007), por la empresa Gallegos Casabonne Arango Quesada Ingenieros.
- Construcción del Pavimento Minero Doe Run – Planta de fundición Junín – Perú (2007-2008), por CEMPROTECH.
- Construcción de la losa de taller de fabricación de tubos Lima – Perú (2007), por la Empresa SIGRAL S.A.
- Construcción de losas de almacenes kimberly clark Lima – Perú (2007 - 2008), por SC Ingeniería y Construcción.

2.1.2. A nivel Internacional

Algunos trabajos experimentales en concreto con adición de fibras encontrados fueron en resúmenes de revistas internacionales:

- "Concreto Reforzado con Fibra, Propiedades y Aplicaciones". Universidad Metropolitana Charelli R. y Bermúdez R. (1993).
- "Influencias de la Utilización de las Fibras de Acero en el Mejoramiento de la Resistencia a Flexión del Concreto". Universidad Nueva Esparta De Sousa J. (2001).
- "Incidencia de las fibras de polipropileno y las fibras metálicas en la resistencia a flexión del concreto para pavimentos rígidos". Universidad Nueva Esparta Rivera Z. (2002).

En los trabajos antes mencionados la importancia y las conclusiones a la que llegaron fueron los siguientes:

- La incidencia de las fibras de polipropileno y las fibras metálicas en la resistencia a flexión del concreto en pavimentos rígidos reducen las fisuraciones y a su vez resulta económica. - Evaluación de las fibras metálicas Wirand FF1 en la resistencia a flexión del concreto para pavimentos rígidos. Reduciendo así el espesor de losa.
- En los ensayos realizados a diferentes fibras en cuanto a su resistencia a flexión, resistencia al impacto y resistencia a la compresión, se pudo determinar que el refuerzo suministrado al colocar estas fibras como agregado a la mezcla del concreto produjo un mejoramiento de estas propiedades físicas incluyendo su resistencia a la fatiga y a la tensión.
- El aporte de las investigaciones y aplicaciones antes mencionadas es que las fibras Wirand FF1 mejoran considerablemente las propiedades del concreto, dando como resultado algunos beneficios como la Ductilidad, Resistencia a la Fatiga, Resistencia al Corte, Resistencia al Impacto y la

flexión, lo que quiere decir, que el suministro de las mismas aumenta el módulo de rotura en un concreto.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. La tecnología del concreto y sus antecedentes en el Perú

Es el campo de la Ingeniería que abarca el conjunto de conocimientos científicos orientados hacia la aplicación técnica, práctica y eficiente del concreto en la construcción. En su desarrollo y utilización intervienen varias ciencias interrelacionadas, como son la Física, la Química, las Matemáticas y la investigación experimental.

La Tecnología del Concreto a nivel mundial ha venido ligada a la historia del cemento y el desarrollo de la Ingeniería Civil, y en el Perú sucedió algo similar.

Desde la época de los egipcios, griegos y romanos se empleaban cementos naturales rudimentarios, es recién a mediados del Siglo XIX que se inicia en Europa la producción moderna del cemento, su uso universal y con ello el inicio de la Tecnología del Concreto que tuvo su despegue final en 1916 con el profesor Duff Abrams y sus estudios sobre la relación Agua/ Cemento.

En el Perú hacia finales del Siglo XIX se importaba cemento en barriles de madera y las obras en concreto eran ejecutadas empíricamente siendo encargadas a Ingenieros extranjeros o algunos Ingenieros peruanos con formación en Europa.

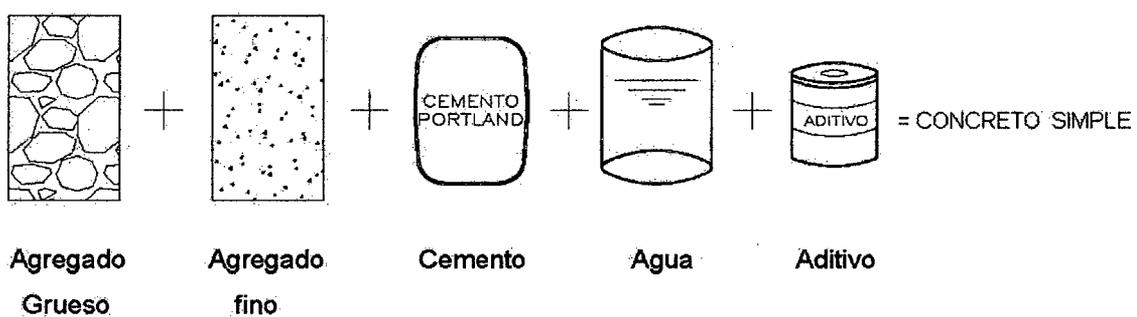
Es una realidad que en nuestras Universidades, se dicta generalmente durante la formación del Ingeniero Civil sólo un curso de Tecnología del Concreto, y algunas veces dentro de un curso global de "Materiales de Construcción", siendo así que el concreto es el material con el que debe enfrentarse continuamente el profesional de la Construcción. Sin embargo, se insiste en instruir al futuro Ingeniero con métodos de Cálculo y Diseño estructural cada vez más complejos y refinados, que si bien son

fundamentales, en la mayoría de los casos pierden su eficacia y trascendencia, cuando en la obras se suman los errores y deficiencias, por desconocimiento de los conceptos que gobiernan el producto final. Otra realidad evidente es que pese a que nuestro país cuenta con la amplia gama de climas, suelos y condiciones ambientales, que en muchos casos son singulares, no existe la iniciativa local e ingenieril para desarrollar una Tecnología del Concreto Nacional que contribuya a empezar con dar a solucionar de manera técnica y económica, problemas tan antiguos como son el producir concreto durable en la Sierra y el Altiplano, trabajar eficientemente con agregados marginales como es el caso de nuestra Selva, o superar las dificultades de hacer concreto en clima cálido como sucede en la mayor parte de la Costa.

2.2.2. Conceptos generales sobre el concreto

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

De esta definición, se desprende que se obtiene un producto híbrido, que conjuga en mayor o menor grado las características de los componentes.



En los aditivos se encuentra:

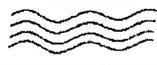
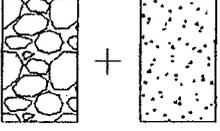
- Incorporadores de aire.
- Reductores de agua.
- Retardadores de fragua.
- Plastificantes.
- Expansivos, etc.



2.2.2.1. Componentes del concreto

Ya hemos esbozado en forma muy superficial los ingredientes del concreto, pero para entender completamente las propiedades y el comportamiento del producto resultante pasaremos a evaluar de manera sucinta las características de los componentes:

1. Cemento Portland
2. Agua
3. Agregados
4. Aditivos

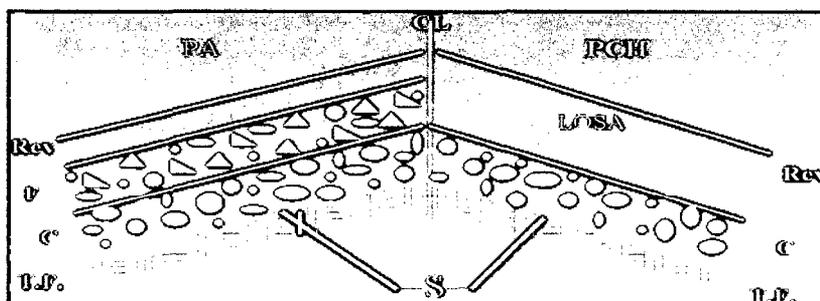
AIRE DEL 1% AL 3%	
CEMENTO DEL 7% AL 15%	
AGUA DEL 15% AL 22%	
MATERIAL PETREO DEL 60% AL 75%	

2.2.3. Pavimentos

Estructura simple o compuesta que tiene una superficie regularmente alisada destinada a la circulación de personas, animales y/o vehículos.

Su estructura es una combinación de cimient, firme y revestimiento, colocada sobre un terreno de fundación resistente a las cargas, a los agentes climatológicos y a los efectos abrasivos del tránsito.

2.2.3.1. Estructura del pavimento



LEYENDA:

PA = Pavimento Asfáltico
 L = Revestimiento
 F = Firme
 T.F. = Terreno de Fundación.

PCH = Pavimento de Concreto Hidráulico.
 Losa = Hormigón de Cemento Portland.
 C = Cimiento
 S = Sub - Rasante

2.2.3.2. Tipos de pavimentos

- Pavimentos Asfálticos (PA)
- Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH)
- Pavimentos Compuestos (Mixtos)
- Pavimentos de avanzada tecnológica: a carga plena (firme emul. Total); a resistencia profunda (firme + firme emul.)
- Pavimentos Adoquinados Intertrabados
- Otros que van a depender del material, de sus características estructurales y el proceso de construcción (rodillados, líticos, de ladrillo, emponados, de planchas metálicas y mixtos)

Pavimento de Concreto Hidráulico (PCH). Características, Además de cumplir con resistir los esfuerzos normales y tangenciales transmitidos por los neumáticos y su constitución estructural, bien construida (Gran Resistencia a la Flexo-Tracción, a la Fatiga y elevado Modulo de Elasticidad), debe tener el espesor suficiente que permita introducir en los casos mas desfavorables solo depresiones débiles a nivel del suelo del terreno de fundación y cada nivel estructural apto para resistir los esfuerzos a los que está sometido. Debe cumplir con satisfacer también las características principales del Pavimento de Concreto Hidráulico (PCH):

- Estar previstas para un período de servicio largo y,
- Prever un bajo mantenimiento.

2.2.3.3. Factores que influyen en la performance de los pavimentos

Tráfico:

- Carga bruta y presión de llanta

- Propiedades del terreno de fundación y materiales del pavimento
- Repetición de carga
- Radio de influencia de carga
- Velocidad
- Eje y configuración de rueda

Clima:

- Precipitación pluvial (Aquaplaning)
- Expansión por congelamiento
- Deshielo del inicio de primavera
- Contracción y expansión
- Congelamiento-deshielo y húmedo-seco

Geometría del proyecto (Diseño Vial)

- Distribución del Tráfico en el Pavimento

MM Posición de la Estructura

- Secciones de corte y relleno
- Profundidad del Nivel Freático
- Deslizamientos y problemas relacionados
- Depósitos ligeramente profundos

Construcción y Mantenimiento

- Deficiencia en la Compactación del Terreno de Fundación y/o Cimiento

129

- Fallas: Instalación y Mantenimiento de Juntas
- Inadecuada colocación de Guías en los niveles (Mandiles o Reglas Metálicas)
- Escarificado y eliminación de materiales superiores al especificado
- Durabilidad del Agregado (Arido) Partido(Fracturado)

2.2.3.4. Tipos de Pavimentos de Concreto Hidráulico (PCH)

1. Pavimentos de Concreto Hidráulico Simple (PCH S) 1.a) Sin elementos de transferencia de carga. 1.b) Con elementos de transferencia de carga.
2. Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo de Acero (PCH RA) 2.a) Con refuerzo de acero no estructural. 2.b) con refuerzo de acero estructural.
3. Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo Continuo (PCH RC)
4. Pavimentos de Concreto Hidráulico Pre o Postensado (PCH PP)
5. Pavimentos de Concreto Hidráulico Reforzado con Fibras (PCH RF)

Pavimentos de Concreto Hidráulico Reforzado con Fibras (PCH RF), El concreto armado con fibras es el hormigón formado por un conglomerado hidráulico, generalmente cemento Portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras discontinuas y discretas. La proporción adecuada de estas fibras es la que aporta al hormigón un mayor o menor refuerzo, que se traduce en una mejora en sus características de tenacidad, control de fisuración y resistencia a flexotracción.

Para que este añadido tenga valor, debe producirse adherencia entre la masa del concreto y la fibra añadida, de forma que se genere una

mezcla con distribución uniforme que convierta al hormigón en un material dúctil que reduzca su fisuración. La inmersión de la fibra hace que ésta soporte parte de las tensiones internas generadas por las cargas.

2.2.3.5. Elección del tipo de pavimento

Consideraciones para su determinación:

- Formular diferentes alternativas equivalentes de diseño para las mismas condiciones de Tráfico y de Resistencia del Suelo.
- Estrategia adoptada para el Mantenimiento y/o Reforzamiento.
- Evaluar el costo inicial de Construcción, de Mantenimiento y/o Reforzamiento, el Valor Residual de la estructura al termino de la Vida Util Calculada, los Costos del Usuario (Consumo de Combustible, gastos de Mantenimiento del Vehículo, llantas, confort, etc, etc.) de tal manera, que se obtengan los costos totales de cada uno de las diversas alternativas de diseño. Luego:
- El tipo de Pavimento será el de menor costo total, que incluye el costo social del Impacto Ambiental.

2.2.3.6. Variables de diseño

1. Terreno de Fundación - Cimiento.
2. Calidad del Concreto.
3. Análisis del Tráfico - Clasificación de Vía.
4. Diseño Geométrico.
5. Diseño Estructural: Soluciones típicas.
6. Juntas.

7. Especificaciones Técnicas.

2.2.4. Concreto reforzado con fibras

2.2.4.1. Reseña histórica de la tecnología de incorporación de fibras al concreto

La idea de reforzar con materiales fibrosos manufacturas resistentes pero de elevada fragilidad se remonta a muchos años atrás; en el antiguo Egipto se introducía paja al macizo arcilloso con el cual confeccionaban ladrillos para conferirle una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después de la cocción al sol.

A lo largo del tiempo, el hombre ha ido perfeccionando los materiales de construcción para mejorar su condición de vida en la sociedad. Así fue como empezó a añadir paja a los bloques de adobe, pelos de caballo a la mampostería de mortero, entre otras técnicas de construcción que se remontan a tiempos memorables.

Existen otros ejemplos históricos: revoques reforzados con crin de caballo, o también con paja en las construcciones más precarias, para evitar fisuras antiestéticas de retiro. La orientación científica al problema del fibrorefuerzo es indudablemente más reciente. Son de los años 50 los primeros estudios sobre la utilización de fibras en acero y en vidrio en el hormigón; en los años 60 en cambio aparecen los primeros estudios sobre hormigones fibroreforzados con fibras sintéticas.

La utilización de fibras en el interior de la matriz del hormigón tiene como finalidad la formación de un material diverso en el cual el conglomerado, que ya puede ser considerado un material diferente constituido por un esqueleto lítico dispersado en una matriz de pasta de cemento hidratada, está unido a un agente reforzante formado por un material fibroso de distinta naturaleza.

En tiempos recientes, las industrias de la producción de materiales de construcción optaron por usar fibras en los diversos productos como cerámicos, plásticos, cementos con el fin de mejorar las propiedades tales como la resistencia a la tracción, a la compresión, mejor comportamiento ante el impacto, control de fisuras entre otros.

En la actualidad, las fibras de acero son usadas como el principal refuerzo para losas de piso industriales, segmentos de túneles, dovelas prefabricadas y cada día se revela como el mejor producto para carreteras que soportan tráfico pesado.

2.2.4.2. Definición

El concreto reforzado con fibras (FRC) se define como aquellos concretos que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa. El concreto reforzado con fibras, según la definición del ACI- American Concrete Institute, no es más que concreto hecho a partir de cementos hidráulicos, conteniendo agregados finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas.

Como fines estructurales proporcionan una mayor energía de rotura pudiendo implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones; en el caso en que las fibras no tengan función estructural suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Las fibras son empleadas en aplicaciones estructurales en busca de beneficios adicionales en cuanto a reducción de mano de obra, incremento de la durabilidad y reducción o eliminación del refuerzo tradicional. El concreto soporta esfuerzos a tracción que son transmitidos por adherencia a las fibras una vez se ha producido

micro-fisura, controlan la fisuración y reducen la intensidad de la misma a la vez que mejoran la tenacidad.

Esencialmente, la naturaleza y el tipo de fibras determinan la efectividad de la acción reforzante y la eficacia de la transmisión. En la actualidad se utilizan diversos tipos de fibras.

2.2.4.3. Tipos de fibra

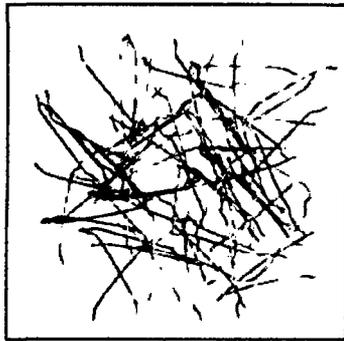
Las fibras no son más que elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa de concreto a fin de conferirle ciertas propiedades específicas, ya sea en estado fresco, en primeras edades o en estado endurecido. De una manera general se pueden clasificar como:

Fibras estructurales: aquéllas que proporcionan una mayor energía de rotura al concreto en masa (en el caso de las fibras estructurales, la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de la sección de concreto).

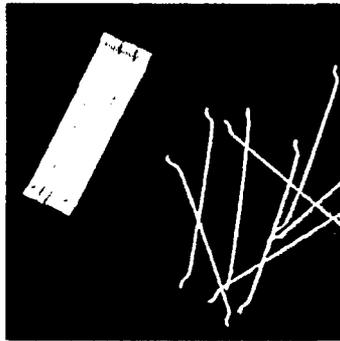
Fibras no estructurales: aquéllas que sin considerar en el cálculo esta energía, suponen una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

Existen diferentes tipos de fibras para el hormigón en función de la materia prima por la cual ellas están producidas:

- Metálicas: aceros de carbono y ligados, aluminio
- Naturales: amianto (asbesto), celulosa, carbón
- Sintéticas: nylon, polipropileno, poliacrilo nitrilo, polivinil alcohol



Macrofibras de acero andada suelta.



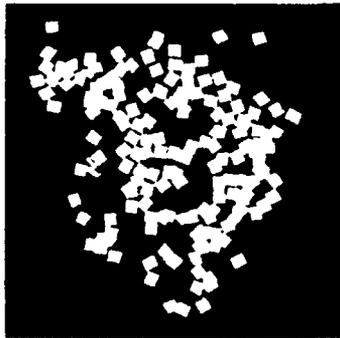
Macrofibras de acero andada pegadas



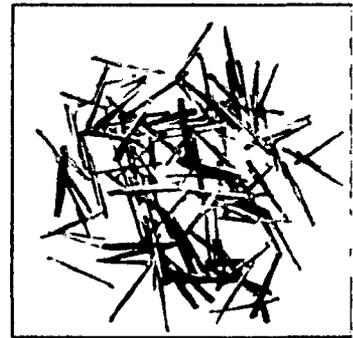
Macrofibras de polipropileno



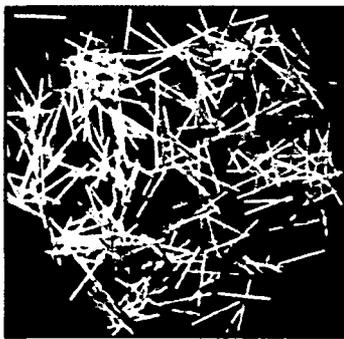
Fibras de vidrio.



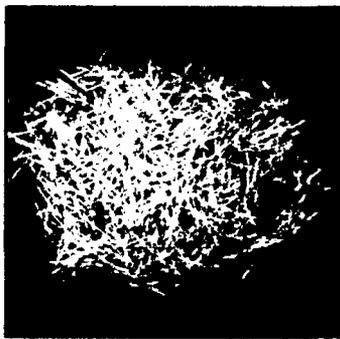
Fibras de celulosa



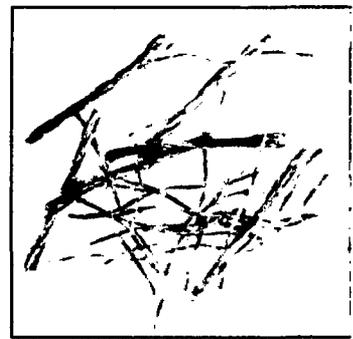
Macrofibras metálicas fresadas.



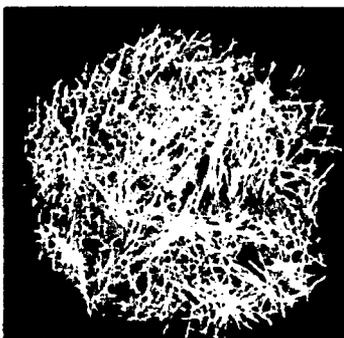
Microfibras metálicas laminadas.



Microfibras metálicas.



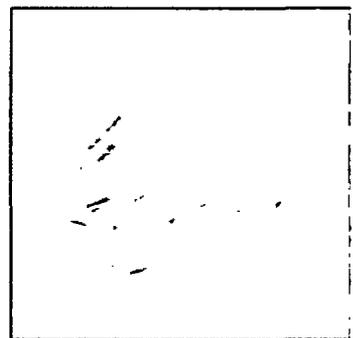
Macrofibras de polipropileno alta tenacidad



Microfibras de polipropileno



Microfibras sintéticas



Microfibras metálicas.

La efectividad de la acción reforzante y la eficacia de la transmisión de tensiones por parte de las fibras dependen de muchos factores,

pero especialmente, de la naturaleza, tipo y características geométricas de las fibras empleadas.

A continuación se muestra en la tabla algunas características de las fibras utilizadas con mortero y concretos.

Fibras	Diámetro (μm)	Densidad (10^3 kg/m^3)	Módulo elástico (kN/mm^2)	Resistencia a tracción (kN/mm^2)	Elongación a ruptura (%)
Acero	5 - 500	7,84	200	0,5 - 2	0,5 - 3,5
Vidrio	9 - 15	2,60	70 - 80	2-4	2 - 3,5
Amianto	0,02 - 0,04	3,00	180	3,30	2 - 3
Polipropileno	20 - 200	0,90	5 - 7	0,5 - 0,75	8
Nylon	-	1,10	4	0,90	13 - 15
Polietileno	-	0,95	0,30	0,0007	10
Carbono	9	1,90	230	2,60	1
Kevlar	10	1,45	65 - 133	3,60	2,1 - 4
Acrílico	18	1,18	14 - 19,5	0,4 - 1	3

Al observar la tabla se aprecian las diferencias entre las propiedades de cada tipo de fibra y las del concreto, especialmente significativas la resistencia a tracción y el módulo de elasticidad. Para que las fibras sean efectivas se recomienda que tengan un módulo de elasticidad al menos 3 veces superior al del concreto (Hormigon). En este sentido, es destacable el módulo de elasticidad de las fibras de acero que es 7 veces mayor que el del concreto.

Las fibras metálicas fundamentalmente son de acero en sus variantes de bajo y medio contenido en carbono, de acero inoxidable y de acero galvanizado, las cuales en el caso de concretos para la construcción se puede destacar la utilización de las fibras de acero.

Las fibras de acero en todas sus variantes son las más utilizadas para conseguir concretos con mejor resistencia a flexión, tracción, impacto, fatiga, etc. La presente tesis se centra en losas de concreto reforzado con fibras de acero, ya que es la aplicación que se da en la

construcción en su mayoría, por esta razón se realiza un apartado específico de fibras de acero en el concreto armado.

2.2.4.4. Concreto Reforzado con Fibras de Acero (SFRC)

Los concretos con fibras de acero están formados, esencialmente, por un conglomerante hidráulico, generalmente cemento portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras de acero discontinuas cuya misión es contribuir a la mejora de determinadas características de los hormigones. Estos concretos tienen menos docilidad que los concretos tradicionales. Debe proveerse una dispersión uniforme de las fibras y prevenirse una segregación o agrupación de las mismas (erizos).

2.2.4.5. Componentes del SFRC

El Concreto reforzado con fibras de acero están constituidos esencialmente por los mismos componentes que un concreto tradicional y adicionalmente fibras de acero. La inclusión de las fibras, además de alterar el comportamiento del concreto en estado endurecido, también lo hace en estado fresco, por lo que a algunos de los componentes se les exigen condiciones que en los hormigones (concretos) tradicionales no son necesarias.

El material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones respecto de un concreto tradicional por estar en función de la cantidad de fibras que se va a adicionar al concreto y a la geometría de éstas. Estas modificaciones pasan principalmente por una limitación en el tamaño máximo del agregado, menores valores de relación grava-arena, mayores cantidades de aditivos reductores de agua, y mayor demanda de finos, entre otros.

En la tabla muestra el rango de proporciones para un SFRC según el ACI Committee 544 1R-96 (2009).

Componentes de la mezcla	Tamaño máximo de árido (mm)		
	10	20	40
Cemento (kg/m³)	350-600	300-530	280-415
Agua/Cemento	0.35-0.45	0.35-0.50	0.35-0.55
% árido finogruoso	45-60	45-55	40-55
% árido ocluido	4-8	4-6	4-5
Fibras conformadas (Vf%)	0.4-1.0	0.3-0.8	0.2-0.7
Fibras planas (Vf%)	0.8-2.0	0.6-1.6	0.4-1.4

Cemento.- El cemento es un componente decisivo en la docilidad del material en estado fresco y, posteriormente, en las características mecánicas del concreto endurecido. Se puede emplear cualquier cemento que cumpla con los requisitos establecidos para un concreto tradicional, siempre que sea capaz de proporcionar al concreto las características que exige el proyecto.

Cuanto mayor sea el contenido de fibras y menor el tamaño máximo del agregado, será necesario emplear una mayor cantidad de cemento con la finalidad de proporcionar más pasta.

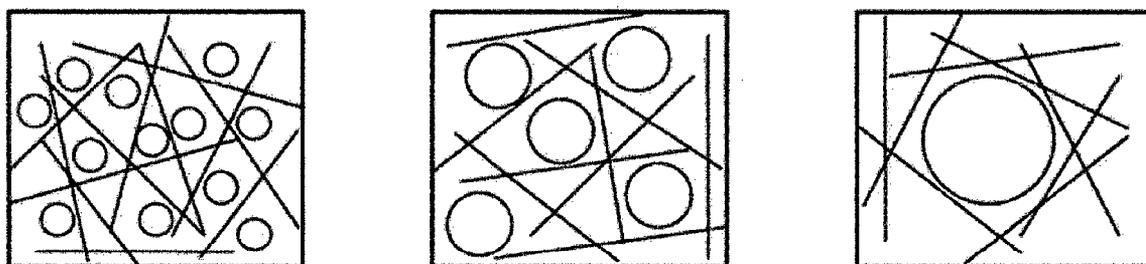
Agua.- Se puede emplear agua que cumpla los mismos requisitos exigidos en el caso de concretos tradicionales armados, poniendo especial atención a los agentes que puedan afectar a las fibras. La Instrucción EHE 2008 establece, que el aumento de la consistencia debido al uso de las fibras debe ser compensado siempre con la adición de aditivos reductores de agua, sin modificar la dosificación prevista de la misma.

Agregados.- Además de cumplir los requerimientos de composición, resistencia, durabilidad, estabilidad y limpieza establecidos para el empleo en concretos tradicionales, los agregados deben tener unos tamaños de partícula, granulometría y formas adecuadas para la elaboración de un SFRC.

Se pueden emplear agregados rodados o chancados, siendo el más adecuado el empleo de los primeros (especialmente en la arena) ya que para valores idénticos de relación agua/cemento se obtiene mejor docilidad que con los agregados chancados.

Respecto del contenido de finos, cuando se adicionan fibras de acero es aconsejable incorporar mayor cantidad de finos para reducir el riesgo de segregación, aumentar la cohesión y favorecer la movilidad de las fibras.

La movilidad potencial de las fibras depende de la proporción de agregado grueso y del tamaño máximo de agregado. Cuanto mayor sean estos dos parámetros menor será la movilidad potencial de las fibras. La JSCE (Japan Society of Civil Engineers) plantea que el valor óptimo del tamaño máximo de agregado sea inferior a la mitad de la longitud de la fibra.



Tamaños máximos de agregado mayores que 20mm no son recomendados, aunque en algunos estudios se han empleado agregados de hasta 38 mm con resultados satisfactorios (ACI 544.3R-08, 2008). Se recomienda también que el tamaño máximo de agregado no supere:

- 2/3 de la longitud máxima de la fibra.
- 1/5 del lado menor del elemento.
- 3/4 de la distancia libre entre las barras de armado.

La relación agregado grueso/agregado fino (Ag/Af) suele reducirse respecto de lo especificado para un concreto tradicional con las mismas exigencias de resistencia, ya que un mayor volumen del mortero facilita la movilidad de las fibras. Se debe buscar una relación Ag/Af óptima que proporcione la docilidad y resistencia deseadas.

Aditivos.- En los SFRC se emplean principalmente aditivos reductores de agua y aireantes. El anejo 14 de la EHE (la Instrucción Española de Hormigón Estructural) 2008 establece que, cuando las fibras utilizadas sean metálicas, el ión cloruro total aportado por los componentes no debe exceder del 0.4% del peso del cemento.

Al adicionar fibras al concreto (en altas proporciones), éste sufre una reducción sustancial de docilidad. Con el fin de no adicionar agua, ni afectar la resistencia y durabilidad esperadas, se emplean superplastificantes.

Si se pretende hacer muy fluido un concreto con un volumen de fibras alto y no se controla adecuadamente la granulometría de los agregados y la distribución de la fibras en el concreto, puede producirse apelmamientos (erizos).

Cuando los SFRC van a estar sometidos a ciclos hielo-deshielo, todas las prácticas conocidas para el concreto tradicional son aplicables, por lo que el uso de un aditivo aireante es una necesidad.

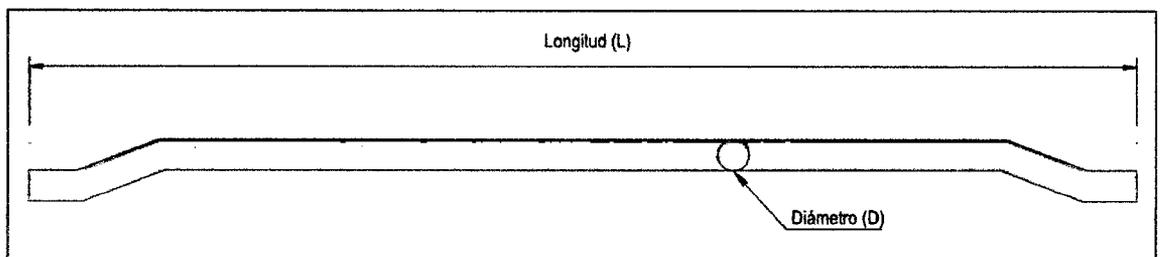
Adiciones.- Las adiciones usualmente empleadas en los SFRC son materiales puzolánicos tales como puzolanas naturales, cenizas volantes y humo de sílice. La adición de estos materiales se hace con el fin de reducir la permeabilidad del concreto, aumentar la durabilidad, mejorar la cohesión del material y en consecuencia la adherencia fibra-matriz, controlar la retracción, disminuir el riesgo de segregación y, en el caso particular de los concretos proyectados,

disminuir el rebote. Por todo esto y por la formación de silicatos similares a los producidos por el cemento, estos materiales dan al concreto con mejores características.

2.2.4.6. Fibras de acero

La fibra es un producto de acero caracterizado geoméricamente por una dimensión predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada, empleada como refuerzo en el conglomerado del hormigón, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, manteniendo inalterada las características geométricas. La fibra está caracterizada geoméricamente por la longitud L, por la forma y por el diámetro equivalente D_e .

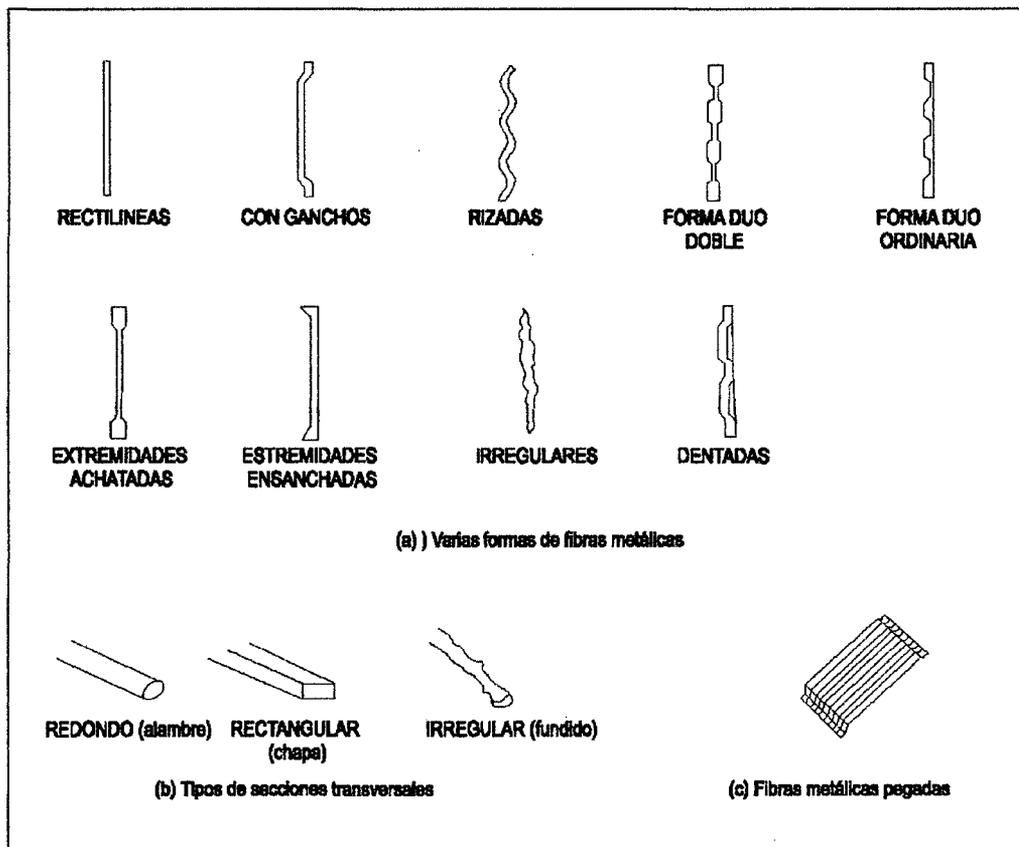
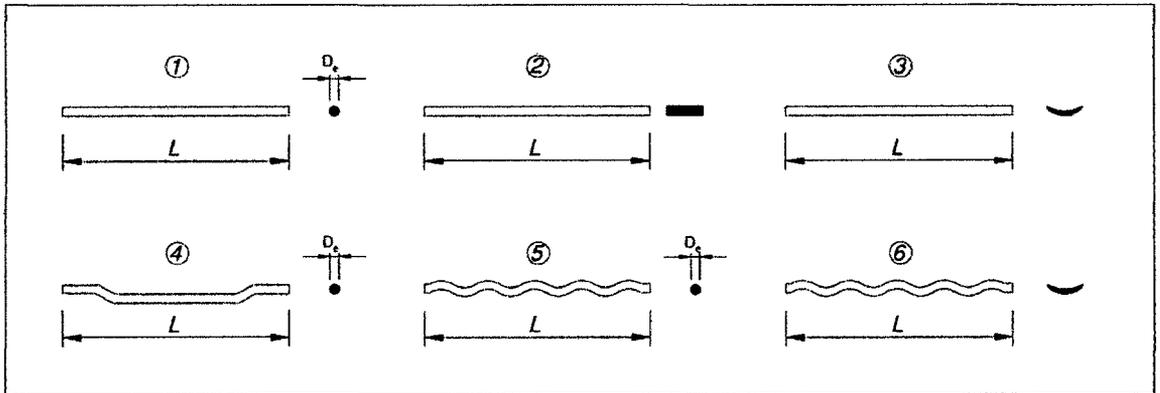
De la relación entre longitud L y el diámetro equivalente D_e se obtiene la relación de aspecto, $\lambda=L/D_e$.



Las fibras de acero son elementos de corta longitud y pequeña sección que se adicionan al concreto con el fin de conferirle ciertas propiedades específicas, con las características necesarias para dispersarse aleatoriamente en una mezcla de concreto en estado fresco empleando metodologías de mezclado tradicionales.

La geometría de las fibras es diversa, axialmente, la forma puede ser rectilínea o perfilada, transversalmente; la fibra puede tener sección circular, rectangular o variada.

Ad



Aporte de fibras:

La adición de fibras de acero al hormigón proporciona las siguientes características:

- Las fibras de acero cosen las fisuras del hormigón formando un "puente" entre los áridos gruesos, permitiendo una formación

controlada de las fisuras, y llevando al hormigón a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial, evitando así la fractura frágil.

- Incremento de la resistencia a la abrasión debido a una reducción de la fisuración.
- Provee a la solera de una excelente resistencia a la corrosión, ya que controla la abertura de las fisuras y por consiguiente la entrada de agua.
- Mejora la resistencia a tracción, flexión y corte, produciendo un aumento de la capacidad portante.
- Proporciona una capacidad adicional de resistencia, debido a la redistribución del momento plástico en caso de solicitaciones localizadas.
- Logra alta resiliencia (capacidad de absorción de energía en el impacto) y resistencia al impacto para solicitaciones dinámicas.
- Provee un refuerzo uniforme en las tres direcciones, convirtiéndolo en un material isótropo y homogéneo, con igual rendimiento en todas las direcciones.
- Debido a las características isotrópicas y a la repartición uniforme de fibras en toda la estructura, es ideal para cargas sin punto de aplicación definida.
- Permite ahorros de material ya que por ejemplo para pavimentos proyectados con hormigón reforzado con fibras, los espesores pueden disminuirse conservando las mismas propiedades.

Ventajas Económicas:

- Eliminación de mallas electrosoldadas o armado de varillas (pisos industriales, aeropistas, pavimentos, cubiertas de puentes, piezas prefabricadas).
- Reducción del espesor de concreto (pavimentos y cubiertas).
- Disminución del número de juntas (pavimentos y cubiertas).
- Disminución de gastos de mantenimiento (todo tipo de superficies sometidas a fuerzas abrasivas).
- Menor costo de almacenamiento (requiere espacios reducidos)
- Mano de obra no especializada (bajo costo).
- Refuerzo uniforme sin importar el tipo de sección.
- Disminución del riesgo de fracturas en él desmolde (piezas prefabricadas, tubos de concreto).
- Disminución del costo de colocación (especialmente en el concreto lanzado se coloca al mismo tiempo el refuerzo).
- Aumenta el tiempo de servicio (mayor vida útil en todo tipo de concreto, especialmente en concreto refractario).

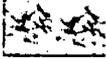
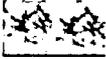
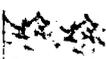
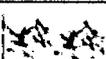
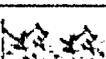
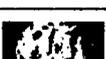
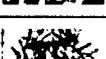
Ventajas Técnicas:

- Disminuye la propagación de microfisuras (todo tipo de obra).
- Proporciona una resistencia mayor al impacto y a las cargas estáticas y dinámicas (pisos industriales y pavimentos en general, tuberías).
- Proporciona una mayor resistencia a la flexión (todo tipo de obra, relevante en pavimentos y cubiertas).

- Gran capacidad de deformación (piezas prefabricadas, tubos).
- Aumento drástico de la resistencia a choques térmicos y mecánicos (concreto refractario).
- Resistencia a la corrosión cuando la fibra es de acero inoxidable (todo tipo de obra en contacto con el agua, tubería, canales, pilotes).
- Gran uniformidad en la adherencia fibra-concreto en el concreto lanzado (cuando el concreto se lanza contra mallas de acero se crean bolsas detraes de las mallas)

2.2.4.7. Clasificación de las fibras MACCAFERRI

La Officine Maccaferri produce fibras moldadas y cortadas de alambre de acero trefilado en frío. Las características químicas de la materia prima (alambrón) están relatadas en la siguiente tabla, en función del diámetro final de la fibra:

Código de la fibra	Clasificación de la fibra según proceso productivo	Material de producción	Resistencia a tracción (MPa)	Dimensiones			
				Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Relación de aspecto (L/D)	Número de elementos por kg de material (n/kg)
Wirand® FF1	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trellado en frío	1100	60	1,00	60	3212
Wirand® FF3	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trellado en frío	1200	60	0,75	67	5710
Wirand® FS1	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trellado en frío	1200	37	0,55	67	14348
Wirand® FS3N	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trellado en frío	1200	33	0,75	44	8851
Wirand® FS4N	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trellado en frío	1200	33	0,60	55	13518
Wirand® FS7	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trellado en frío	1300	33	0,55	60	16067
FibroMac® 12	 Inorgánica	Multifilamento de polipropileno virgen	320-400	12	0,02		180.000.000 (por m² de mezzala)
Ultrafiber® 500	 Orgánica Vegetal	Multifilamento de Celulosa virgen	90-130 ksi	02:01	0,02		1.450.000.000
MC1®	 Inorgánica	Fresado de laminas de acero	800	32	0,4°	32	7857

	Wirand® FF1	Wirand® FF3	Wirand® FS1	Wirand® FS3N	Wirand® FS4N	Wirand® FS7	FibroMac® 12	Ultrafiber® 500	MC1®
Propiedades cualitativas del hormigón fibroreforzado									
Ductilidad y Tenacidad	●●●	●●●●	●●●●	●●	●●●	●●●●			●
Resistencia a la fatiga	●●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●			●
Resistencia al impacto	●●●	●●●	●●●●	●●	●●●	●●●			●●●
Permeabilidad	●●	●●	●●●	●●	●●	●●●			●●●
Control de Microfisuración	●	●	●●	●●	●●	●●	●●●●	●●●●	●●●
Resistencia a la abrasión	●	●	●●●	●●	●●	●●●			●●
Retracción a largo plazo	●●●●	●●●●	●●●	●●	●●	●●●			●●●
Resistencia al fuego							●●●●	●●●●	

●●●● Máximo desempeño ● Mínimo desempeño

Dosificaciones Mínimas (kg/m ³) y espesores mínimos (mm)		Wirand® FF1		Wirand® FF3		Wirand® FS1		Wirand® FS3N		Wirand® FS4N		Wirand® FS7		MC1® Wirand® FF1 (mb)		Fibrotac® 12		Ultrafiber® 500	
		25		25		18		15		15		15		25		Adición aconsejada		Adición aconsejada	
		Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.	dosificación		dosificación	
Pavimentación	Industrial	25	200	25	200									30	200	0,6 / 0,10		0,6 / 0,9	
	Aeropuerto	35	300	30	300									40	300	1,9			
	Áreas Comerciales	20	150	20	150									30	200	0,6 / 0,10			
	Mejoramiento Sub-Base de fundaciones	20	100	20	100	20	60	25	50	20	60	20	50						
	Fundaciones para maquinarias	40	250	35	250	30	250	35	250	35	250	35	300	35	300				
Túneles	Revestimiento primario					25	150	35	150	30	150	25	150						
	Revestimiento final	30	300											35	300			0,6 / 0,9	
	Dovelas	60	350	50	350									60	300			0,6 / 0,9	
Prefabricados y otros	Aligerados					25	60	30	50	30	50	25	50			0,6 / 0,10			
	Precomprimidos									50	50	50	50						
	Estrudos	30	150	25	150														
	Revestimiento de canales	25	150	20	150											0,6 / 0,10			

2.2.5. Diseño de mezcla del concreto

2.2.5.1. Introducción

Se puede decir que las propiedades del concreto se estudian principalmente con el propósito de diseñar mezclas, y es desde ese punto de vista que estudiaremos las diversas propiedades principales del concreto.

Las propiedades que se requieren en el concreto endurecido las especifica el diseñador de la estructura, y las propiedades del concreto fresco se rigen por el tipo de construcción y por las técnicas de colado y transportación. Estos dos grupos de requisitos permiten al Ingeniero determinar la composición de la mezcla, teniendo presente el grado de control que se ejercerá en la obra. Así pues, el diseño de mezclas puede definirse como el proceso para seleccionar los componentes adecuados del concreto y determinar sus

cantidades relativas, con el fin de producir, con el mayor ahorro posible, concreto con un mínimo de ciertas características, principalmente consistencia, resistencia y durabilidad.

2.2.5.2. Especificaciones

Este tema es extenso; por lo que se le considerara solo en la medida en que el tipo de especificación afecta al diseño de la mezcla.

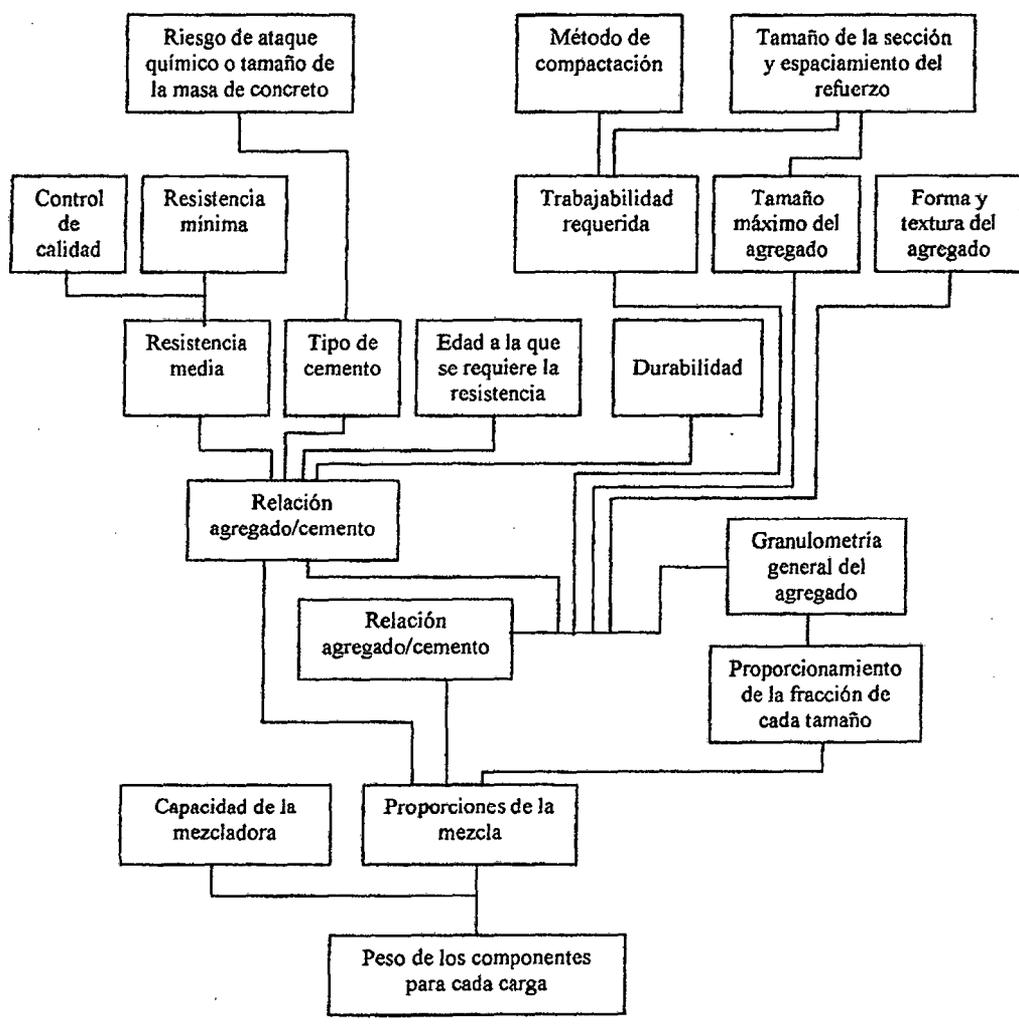
Las especificaciones más usuales en el diseño son las siguientes:

- Resistencia "mínima" a la compresión necesaria por consideraciones estructurales.
- Relación máxima de agua/cemento y de contenido máximo de cemento y, en ciertas condiciones de exposición, un contenido mínimo de aire incluido para proporcionar la durabilidad adecuada.
- Contenido máximo de cemento para evitar agrietamiento debido a ciclos de temperatura en concreto masivo.
- Contenido máximo de cemento para evitar agrietamiento por contracción en condiciones de exposición de muy poca humedad.
- Densidad mínima para presas de gravedad y estructuras similares.

Estos requisitos mencionados deben, entonces, satisfacerse en los cálculos de diseño de mezcla y forman, de hecho, la base para la selección y dosificación de los componentes de la mezcla.

2.2.5.3. Proceso del diseño de la mezcla

Los factores básicos que deben considerarse al determinar las proporciones de la mezcla se representan esquemáticamente en la figura. También se incluye la secuencia de decisiones hasta llegar a la cantidad de cada componente por lote.



2.2.5.4. Selección de las proporciones del concreto

Aspecto teórico del diseño

Los siguientes pasos se consideran fundamentales en el proceso de selección de las proporciones de la mezcla para alcanzar las propiedades deseadas en el concreto. Ellos deben efectuarse independientemente del procedimiento de diseño seleccionado.

Paso 1. Estudiar cuidadosamente los requisitos indicados en los planos y las especificaciones de obra.

Paso 2. Seleccionar la resistencia promedio requerida para obtener en obra la resistencia de diseño especificada por el proyectista. En esta etapa se deberá tener en cuenta la desviación estándar y el coeficiente de variación de la compañía constructora, así como el grado de control que se ha de ejercer en obra.

$$f_{cr} = f_c + 1.34S$$

$$f_{cr} = f_c + 2.33S$$

Paso 3. Seleccionar, en función de las características del elemento estructural y del sistema de colocación del concreto; el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Paso 4. Elegir la consistencia de la mezcla y expresarla en función del asentamiento de la misma. Se tendrá en consideración, las características de los elementos estructurales y las facilidades de colocación y compactación del concreto.

Paso 5. Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen del concreto, considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire, incorporado o atrapado, en la mezcla.

Paso 6. Determinar el porcentaje de aire atrapado o el de aire total, según se trate de concretos normales o en los que ex profesamente, por razones de durabilidad, se ha incorporado aire, mediante el empleo de un aditivo.

Paso 7. Seleccionar la relación agua / cemento requerido para obtener la resistencia deseada en el elemento estructural. Se tendrá en consideración la resistencia promedio seleccionada y la presencia o ausencia de aire incorporado.

Paso 8. Seleccionar la relación agua / cemento requerido por condición de durabilidad. Se tendrá en consideración los diferentes agentes externos e internos que podrían atentar contra la vida de la estructura.

Paso 9. Seleccionar la menor de las relaciones agua / cemento elegidas por resistencia y durabilidad, garantizando con ello que se obtendrá en la estructura la resistencia en compresión necesaria y la durabilidad requerida.

Paso 10. Determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto, en función del volumen unitario de agua y de la relación de agua / cemento seleccionado.

Paso 11. Determinar las proporciones relativas de los agregados fino y grueso. La selección de la cantidad de cada uno de ellos en la unidad cúbica de concreto está condicionada al procedimiento de diseño seleccionado.

Paso 12. Determinar, empleando el método de diseño seleccionado, las proporciones de la mezcla, considerando que el agregado está en estado seco y que el volumen unitario de agua no ha sido corregido por humedad del agregado.

Paso 13. Corregir dichas proporciones en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad del agregado fino y grueso.

Paso 14. Ajustar las proporciones seleccionadas de acuerdo a los resultados de los ensayos de la mezcla realizadas en laboratorio.

Paso 15. Ajustar las proporciones finales de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados bajo condiciones de obra.

Cualquiera sea el método de diseño empleado, así como el mayor o menor grado de refinamiento que se aplique en el mismo, el concreto

resultante debe siempre considerarse como un material de ensayo cuyas proporciones definitivas se establecen en función de los resultados de las experiencias de laboratorio y las condiciones de trabajo en obra.

Selección de la resistencia promedio

Las mezclas de concreto deben diseñarse para una resistencia promedio cuyo valor es siempre superior a la de la resistencia de diseño especificada por el ingeniero proyectista.

f_c	f_{cr}
Menos de 210	$f_c + 70$
210 a 350	$f_c + 84$
Sobre 350	$f_c + 98$

Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

La Norma ITINTEC 400.037 define al Tamaño Máximo Nominal como aquel que corresponde al menor tamiz por lo que pasa toda la muestra del agregado grueso.

Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasan por las siguientes mallas							
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8
2"	95-100	...	35-70	...	10-30	...	0,5	...
1 1/2"	100	95-100	...	35-70	...	10-30	0,5	...
1"	...	100	95-100	...	25-60	...	0,10	0,5
3/4"	...	...	100	90-100	...	20-55	0,10	0,5
1/2"	...	...	...	100	90-100	40-70	0,15	0,5
3/8"	...	...	...	...	100	85-100	10,30	0,10

Selección del asentamiento

La consistencia es aquella propiedad del concreto no endurecido que define el grado de humedad de la mezcla, de acuerdo a su consistencia, las mezclas de concreto se clasifican en:

- Mezclas secas.- aquellas cuyo asentamiento está entre 0 a 2".
- Mezclas plásticas.- aquellas cuyo asentamiento está entre 3 a 4".
- Mezclas fluidas.- aquellas cuyo asentamiento está entre 5" a mas pulgadas.

Tipo de Construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zápatas 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"

Selección del volumen unitario del agua

La selección del volumen unitario de agua se refiere a la determinación de la cantidad de agua que se debe incorporar a la mezcla, por unidad cúbica de concreto, para obtener una consistencia determinada cuando el agregado esta al estado seco.

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	205	200	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	225	215	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	240	228	216	202	190	178	160	...
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

Selección de la relación agua cemento por resistencia

Esta tabla da valores aproximados y relativamente conservadores para concretos con cemento Portland Tipo 1, para materiales que cumplen con las Normas ASTM C 33, las relaciones agua-cemento de esta tabla deberán permitir obtener las resistencias indicadas, las cuales corresponden a probetas ensayadas a los 28 días, curadas en condiciones de laboratorio.

f _{cr} (28 días)	Relación agua - cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	...
450	0.38	...

Selección del agregado

La selección de las proporciones de los agregados fino y grueso en la unidad cúbica del concreto tiene por finalidad obtener una mezcla en la que, con un mínimo contenido de pasta, se puedan obtener las propiedades deseadas en el concreto, para ello es deseable que la granulometría total de las partículas de agregado sea tal que el volumen de vacíos, o espacio entre partículas sea mínimo.

T.M.N. Ag.	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto (b/bo) para diferentes MF del fino			
	Grueso	2,40	2,60	2,80
3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,6
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,7
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

El agregado grueso se encuentra en la condición de seco compactado, tal como es definida por la Norma ASTM C 29.

2.2.6. Diseño factorial general

Los diseños factoriales se utilizan para "cribar" o tamizar el proceso, esto es, determinar por primera vez que factores de los que hemos incluido en el diseño, son relevantes para el proceso. Dentro de los arreglos factoriales, existen varios tipos:

- *El factorial general*
- *El factorial 3^k*

- *El factorial 2^k*
- *El Central Compuesto*
- *Diseños Plackett-Burman*
- *Diseños Box-Behnken*

Muchos experimentos requieren el estudio de los efectos de 2 ó más factores. En general, los experimentos factoriales son los más eficientes para este tipo de análisis.

En un experimento factorial se miden en cada etapa completa o réplica del experimento, todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores.

Cuando los factores son arreglados en un experimento factorial, se dice frecuentemente que son cruzados. El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio en el nivel del factor. Esto frecuentemente se llama un efecto principal por que se refiere a los factores primarios de interés en el experimento (Reyes, 1997).

2.2.6.1. Diseño factorial 2^k

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. Existen varios casos especiales del diseño factorial general que resultan importantes porque se usan ampliamente en el trabajo de investigación, y porque constituyen la base para otros diseños de gran valor práctico (Montgomery, 2002).

El más importante de estos casos especiales ocurre cuando se tienen k factores, cada uno con dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos como sería el caso de dos valores de temperatura presión o tiempo. También pueden ser cualitativos como sería el

caso de dos máquinas, dos operadores, los niveles "superior" e "inferior" de un factor, o quizás, la ausencia o presencia de un factor. Una réplica completa de tal diseño requiere que se recopilen $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ observaciones y se le llama diseño factorial 2^k (Reyes, 1997).

Se supone que 1) los factores son fijos, 2) los diseños son completamente aleatorios y 3) se satisface la suposición usual de normalidad.

El diseño 2^k es particularmente útil en las primeras fases del trabajo experimental, cuando es probable que haya muchos factores por investigar. Conlleva el menor número de corridas con las cuales pueden estudiarse k factores en un diseño factorial completo. Debido a que sólo hay dos niveles para cada factor, debe suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal en el intervalo de los niveles elegidos de los factores (Montgomery, 2002).

2.3. HIPÓTESIS

- Hipótesis Nula (H_0): El empleo de fibras de acero Wirand® FF1 no influye significativamente en el comportamiento del concreto para pavimentos en la construcción de pistas en la Provincia de Huamanga – Ayacucho.
- Hipótesis Alterna (H_1): El empleo de fibras de acero Wirand® FF1 influye significativamente en el comportamiento del concreto para pavimentos en la construcción de pistas en la Provincia de Huamanga – Ayacucho.

2.4. VARIABLES DE ESTUDIO

2.4.1. Variable independiente

X. Fibras de acero Wirand® FF1

2.4.2. Variable dependiente

Y. Mejora de comportamiento y resistencia a flexión del concreto para pavimentos.

2.4.3. Definición operativa de variables e indicadores

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores
X	Fibras de acero Wirand FF1.	<u>Fibras de acero Wirand FF1</u> : Término referido al elemento de adición al concreto empleado para pavimento rígido de la obra en estudio	<ul style="list-style-type: none"> - Adición de fibra (20 Kg/m³). - Diseño de mezcla de concreto patrón (dosificación sin fibra metálicas). - Diseño de mezcla de concreto reforzado con fibras de acero (SFRC).
Y	Mejora de comportamiento y resistencia a flexión del concreto para pavimentos.	<u>Mejora de comportamiento y resistencia a flexión del concreto para pavimentos</u> : Es el resultado obtenido generando un comportamiento del concreto más favorable y satisfactorio para pavimentos rígidos.	<p>Estudio del concreto patrón (dosificación sin fibra metálicas) y concreto reforzado con fibras de acero (SFRC):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ensayos del concreto fresco. - Ensayos del concreto endurecido. - Ensayos de resistencia a la compresión axial (f_c). - Ensayos de resistencia a la flexión o módulo de rotura (m_r).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

Departamento : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Altitud : 2,746 m.s.n.m.

Coordenadas UTM : Latitud Sur 13° 09' 26" y Longitud Oeste 74° 13' 22"

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación del trabajo realizado es Aplicada.

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es Descriptivo.

Descriptivo, porque se describirá, analizará e interpretará sistemáticamente un conjunto de hechos relacionado con otra variable tal como se dio en el presente. Así como se estudia al fenómeno en su estado actual y en su forma natural.

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

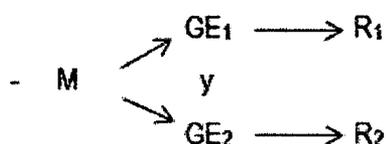
El método de investigación es Experimental.

Porque se realizó ensayos de laboratorio en especímenes, elaborando probetas cilíndricas y prismáticas (tipo viga) con y sin adición de fibras de acero Wirand® FF1.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Investigación descriptiva transversal.

En la investigación de enfoque experimental se manipuló un grupo de variables de estudio, para controlar las diferencias del comportamiento de esas variables y su efecto en las conductas observadas. Dicho de otra forma, el 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.



M : Muestra

GEi : Grupo de estudio de las variables

Ri : Resultados

3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.6.1. Población

Es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio" (Arias, 2006).

Para nuestro estudio la población en lo específico es el concreto de $f'c = 210$ kg/cm² sin la adición de fibra metálica Wirand® FF1 y el concreto de $f'c = 210$ kg/cm² con adición de la fibra metálica Wirand® FF1 de la obra en ejecución denominada "Construcción de pistas en el Distrito de Ayacucho – Huamanga – Ayacucho".

3.6.2. Muestra

Es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible.

En nuestro caso la muestra estuvo conformada por probetas cilíndricas y prismáticas de concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, 9 de c/u del concreto patrón (dosificación sin fibra metálicas) y 9 c/u de concreto reforzado con fibra metálica Wirand® FF1.

Para la investigación experimental (confección de especímenes, desarrollo del ensayo experimental y la recopilación de datos) se utilizaron las metodologías de ensayo: ASTM C39 "método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto" y ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) que consiste en ensayar una probeta de sección prismática de 15 cm. x 15 cm. x 50 cm., apoyándola sobre dos soportes rotulados separados 45 cm. y aplicando carga a los tercios de la luz libre (a 15 cm. de cada extremo) falladas a flexión. En ambos casos serán ensayados a diferentes edades en días 7, 14 y 28 respectivamente.

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. Técnica

Las principales técnicas que se utilizó en este estudio fueron por observación directa, análisis de documentos, ensayos de probetas cilíndricas y viguetas con y sin adición de fibras de acero.

- Toma de muestras de agregados
- Peso unitario de los agregados (MTC E 203 - 2000)
- Peso específico y absorción de agregados agregado grueso (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)
- Peso específico y absorción de agregados agregado fino (MTC E 205 - 2000)

- Porcentaje de vacíos
- Contenido de humedad, absorción efectiva y humedad superficial
- Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204 - 2000)
- Análisis granulométrico del agregado fino (MTC E 204-2000)
- Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.) - NTP339.145
- Diseño de mezclas usando el método del comité 211 del ACI
- Ensayos del concreto fresco
- Ensayo de resistencia a la compresión axial ASTM C39
- Ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura ASTM C78

3.7.2. Instrumento

Los instrumentos utilizados en las técnicas antes mencionadas fueron:

- Datos de campo (insitu).
- Bolsas de conservación de muestra.
- Laboratorio de mecánica de suelos y concreto.
- Máquina de ensayo a flexión (transformador diferencial de variación lineal "LVDT").
- Formatos de laboratorio.

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos de la investigación se realizó en forma directa, la primera etapa a través del muestro para luego llevarlos al laboratorio y la segunda etapa a partir de los diseños y ensayos anotándolos en los formatos respectivos de acuerdo a los procedimientos técnicos y normativos establecidos y en función al cronograma establecido del proyecto de tesis; así como las fechas de obtención de las probetas

cilíndricas y prismáticas, fecha de los respectivos ensayos de resistencia a la compresión axial ASTM C39 y de resistencia a la flexión o módulo de rotura ASTM C78.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó equipos de laboratorio, programas de ingeniería, Programa estadístico Design-Expert® versión 8.0.6 (Stat-Ease, Inc.), Hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2010, tomando en cuenta que los datos obtenidos son variables cuantitativas y cualitativas.

3.9.1. Técnicas de procesamiento

- Para la investigación experimental (confección de especímenes, desarrollo del ensayo experimental y la recopilación de datos) se utilizaron las metodologías de ensayo: ASTM C39 “método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto” y ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) que consiste en ensayar una probeta de sección prismática de 15 cm. x 15 cm. x 50 cm., apoyándola sobre dos soportes rotulados separados 45 cm. y aplicando carga a los tercios de la luz libre (a 15 cm. de cada extremo) falladas a flexión.
- Formatos del laboratorio de mecánica de suelos y concreto.

3.9.2. Análisis de los datos

- Las variables de respuesta se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (5%), y un intervalo de confianza $(1-\alpha)=0.95$ (95%) mediante el paquete de software comercial Design-Expert®.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Propiedades de los materiales

Para iniciar con los trabajos en laboratorio, se hizo el traslado de los agregados desde la cantera ubicada en Chacco, a orillas del río del mismo nombre.

Seguidamente se procedió a realizar los ensayos respectivos:

- Toma de muestras del agregado grueso (piedra chancada) y agregado fino (arena), mediante el método de cuarteo (ASTM D-75).
- Análisis granulométrico de los agregados para determinar: tamaño máximo, porcentaje de finos, módulo de fineza, huso granulométrico (ASTM C-136).
- Ensayo para determinar en contenido de humedad (ASTM C-566).
- Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso (ASTM C- 127).
- Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino (ASTM C-128).
- Ensayo para determinar el peso unitario suelto del agregado grueso y fino (ASTM C-29).

- Ensayo para determinar el peso unitario compactado del agregado grueso y fino (ASTM C-29).

4.1.1.1. Agregado Fino

Se define como Agregado Fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz 9.4 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 ó ASTM C 33.

Requisitos:

El agregado podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias; de perfil preferentemente angular; duro; compacto y resistente; libre de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto.

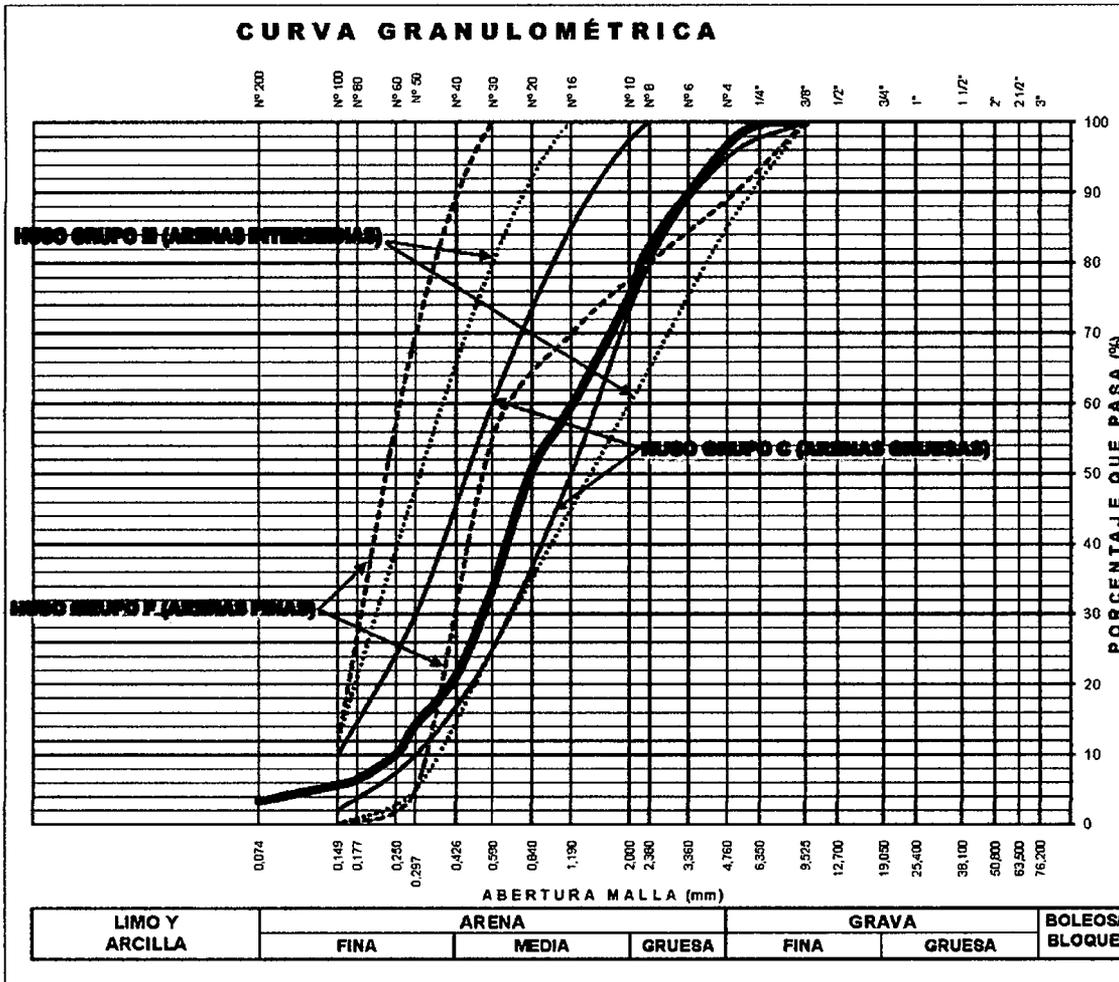
Características y Propiedades Físicas:

El agregado fino utilizado en el diseño del concreto patrón es Arena Gruesa cuya procedencia es de la Cantera Chacco. El agregado estará graduado dentro de los límites indicados en la Norma NTP 400.012 o ASTM C33. La granulometría seleccionada será preferentemente uniforme o continua, con valores retenidos en las mallas N° 4 a N° 100 de la serie Tyler.

El porcentaje retenido en dos mallas sucesivas no excederá del 45%; el módulo de fineza no deberá ser menor de 2,3 ni mayor de 3,1 obteniendo ser mantenido dentro de los límites de más o menos 0,2 del valor asumido para la selección de las proporciones de la mezcla.



TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. LIM. TOTAL	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	-	-	100.00		PESOS (gr)		
	2 1/2"	63.500	-	-	100.00		Peso seco inicial	1653.36	
	2"	50.800	-	-	100.00		Peso seco lavado	1598.26	
	1 1/2"	38.100	-	-	100.00		Pérdida por lavado	55.1	
	1"	25.400	-	-	100.00		ENSAYOS ESTÁNDAR		
	3/4"	19.050	-	-	100.00		%Grava	3.3	
	1/2"	12.700	-	-	100.00		%Arena	93.3	
	3/8"	9.525	1.36	0.08	0.08	99.92	100	%de Finos	3.3
	1/4"	6.350	4.51	0.27	0.36	99.64		D ₁₀ = D _{60(mm)} =	0.2487
	Nº 4	4.760	19.51	2.99	3.35	96.65	89 - 100	D _{30(mm)} =	0.5410
	Nº 6	3.360	-	-	3.35	96.65		D _{60(mm)} =	1.1663
	Nº 8	2.380	239.74	14.50	17.85	82.15	65 - 100	Cu =	4.7
	Nº 10	2.000	114.66	6.93	24.78	75.22		Cc =	1.0
	Nº16	1.190	258.74	15.65	40.43	59.57	45 - 100	D _{15(mm)} =	0.3482
	Nº 20	0.840	149.73	9.06	49.49	50.51		D _{50(mm)} =	0.6949
	Nº 30	0.590	277.62	16.79	66.28	33.72	25 - 100	D _{85(mm)} =	2.8478
	Nº 40	0.426	205.74	12.44	78.73	21.27		Clasificación SUCS	SP
	Nº 50	0.297	115.71	7.00	85.72	14.28	5 - 70	ARENA MAL GRADUADA	
	Nº 60	0.250	68.80	4.16	89.88	10.12		Gravedad específica	2.38
	Nº 80	0.177	60.02	3.63	93.52	6.48		Módulo de Fineza	3.08
Nº 100	0.149	12.53	0.76	94.27	5.73	0 - 12	Superficie específica (cm ² /gr)	53.5	
Nº 200	0.074	39.59	2.39	96.67	3.33				
Fondo		-	-	96.67	3.33				
Lavado		55.1	3.33	100.00	0.00				
TOTAL		1,653.36	100.00						



PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,768.0	2,768.0	2,768.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	<u>7,237.0</u>	<u>7,298.0</u>	<u>7,320.0</u>
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,471.0	4,532.0	4,554.0
D Volumen del Molde (cm³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m³) = (C)/(D)	1,579	1,600	1,608
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,596		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,768.0	2,768.0	2,768.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	<u>7,594.0</u>	<u>7,640.0</u>	<u>7,686.0</u>
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,826.0	4,874.0	4,920.0
D Volumen del Molde (cm³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m³) = (C)/(D)	1,705	1,721	1,737
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,721		

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)				
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO N° 01	ENSAYO N° 02	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	122.98	60.06	
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	679.60	350.29	
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	755.80	387.58	
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	127.94	62.40	
Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)		2.38	2.39	2.38
Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)		2.47	2.49	2.48
Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)		2.63	2.64	2.63
% de Absorción = ((S - A)/A) x 100		4.03	3.90	3.96

Porcentaje Retenido en la Malla N°4 (%)	63.38
Porcentaje que pasa la Malla N°4 (%)	36.62
Gravedad especifica de los sólidos	2.44

IDENTIFICACIÓN		Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,598
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,721
C	Gravedad Especifica de Masa	2.38
D	Peso de los Solidos (gr)	2,384
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		33.1
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		27.8

IDENTIFICACIÓN		Agregado Fino	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	106.49	105.18
B	Peso Seco de la muestra (gr)	101.24	99.99
C	Peso del agua en la muestra (gr)	5.25	5.19
D	% de absorcion	3.88	
Contenido de Humedad (%)		5.19	5.19
Contenido de Humedad (%)		5.19	
Absorcion Efectiva (%)		-	
Humedad Superficial (%)		1.22	

4.1.1.2. Agregado Grueso

Se define como Agregado Grueso al material proveniente de la desintegración natural o artificial, retenido en el tamiz 4,75 mm (No 4)

y que cumple con los límites establecidos en la Norma N.T.P. 400.012 ó ASTM C 33. Para la siguiente investigación se trabajó con piedra chancada cuya procedencia es de la Cantera Chacco.

Requisitos:

Varias Propiedades Físicas comunes del agregado, son relevantes para el comportamiento del agregado en el concreto. A continuación se tratan estas Propiedades Físicas.

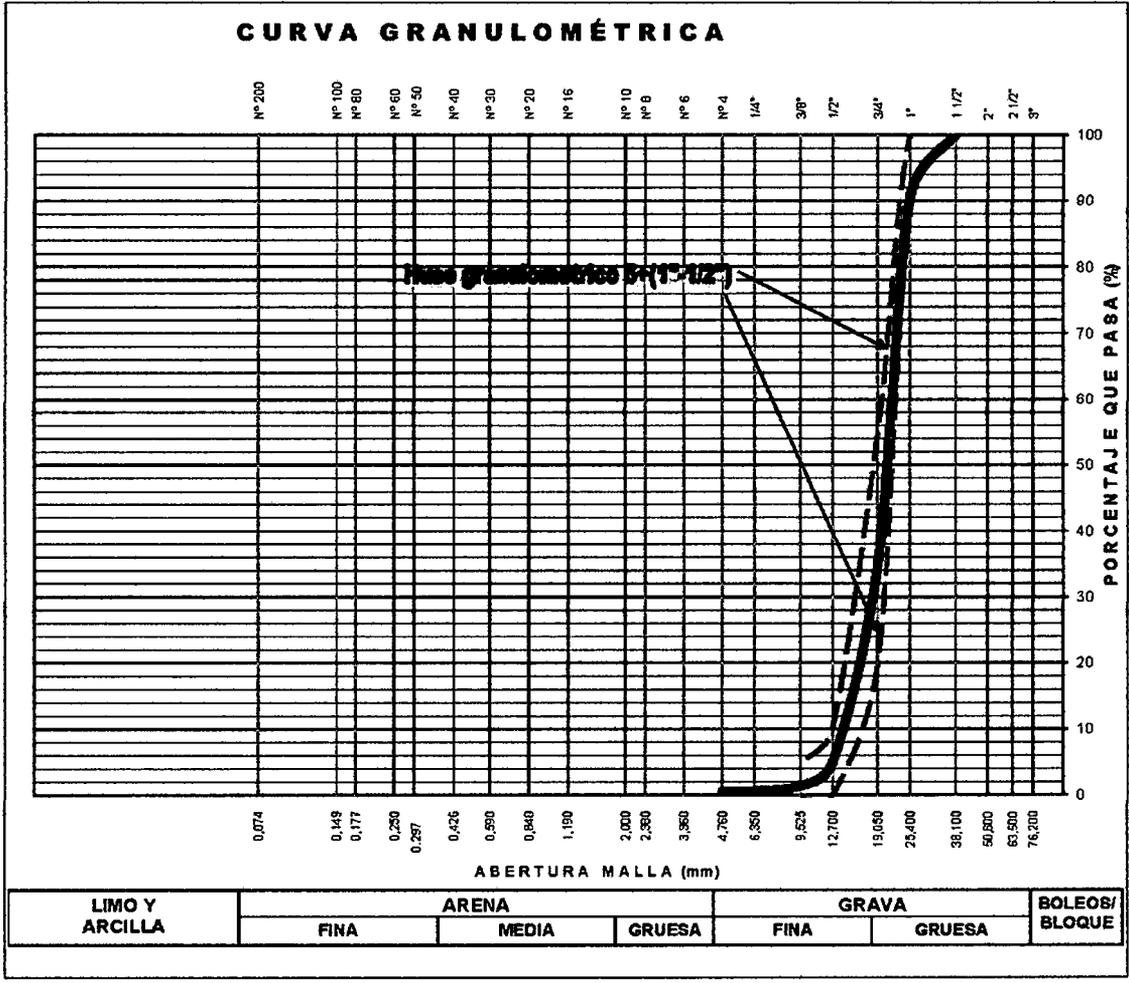
Características y Propiedades Físicas:

El tamaño máximo del Agregado Grueso que se utiliza en el concreto, tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado donde se produce el primer retenido y el tamaño máximo corresponde a la malla más pequeña por la que pasa todo el agregado.

Una vez definida la Granulometría, para la producción de un concreto de calidad, es necesario que el aprovisionamiento del Agregado Grueso presente la menor variación posible, manteniéndose la regularidad de su Granulometría.



TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 5+ TMN ± 1/2'	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200						PESOS (gr)
2 1/2"	63.500		-	-	100.00		
2"	50.800		-	-	100.00		Peso seco inicial 2235.3
1 1/2"	38.100		-	-	100.00	100 - 100	Peso seco lavado 2224.42
1"	25.400	212.34	9.50	9.50	90.50	90 - 100	Pérdida por lavado 10.9
3/4"	19.050	1243.21	55.64	65.14	34.86	20 - 55	ENSAYOS ESTANDAR
1/2"	12.700	672.63	30.09	95.23	4.77	0 - 10	% Grava 99.4
3/8"	9.525	74.95	3.35	98.59	1.41	0 - 5	% Arena 0.1
1/4"	6.350	16.91	0.76	99.34	0.66		% de Finos 0.5
Nº 4	4.760	0.59	0.03	99.37	0.63		D ₁₀ = D _{85(mm)} = 17.6560
Nº 6	3.360		-	99.37	0.63		D _{30(mm)} = 18.0250
Nº 8	2.380	0.31	0.01	99.38	0.62		D _{50(mm)} = 24.3558
Nº 10	2.000	0.06	0.00	99.39	0.61		Cu = 1.4
Nº 16	1.190	0.13	0.01	99.39	0.61		Cc = 0.8
Nº 20	0.840	0.07	0.00	99.40	0.60		D _{15(mm)} = 22.3905
Nº 30	0.590	0.19	0.01	99.40	0.60		D _{60(mm)} = 22.2455
Nº 40	0.426	0.15	0.01	99.41	0.59		D _{75(mm)} = 24.7723
Nº 50	0.297	0.19	0.01	99.42	0.58		Clasificación SUCS GP
Nº 60	0.250	0.22	0.01	99.43	0.57		GRAVA MAL GRABADA
Nº 80	0.177	0.43	0.02	99.45	0.55		Tamaño Máximo Nominal 1'
Nº 100	0.149	0.19	0.01	99.46	0.54		Gravedad específica 2.47
Nº 200	0.074	1.22	0.05	99.51	0.49		Módulo de Fineza 7.60
Fondo			-	99.51	0.49		Superficie específica (cm ² /gr) 3.53
Lavado		10.9	0.49	100.00	0.00		
TOTAL		2235.3	100.0				



PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	7,339.0	7,339.0	7,339.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	20,230.0	20,124.0	20,220.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	12,891.0	12,785.0	12,881.0
D Volumen del Molde (cm³)	9,450.7	9,450.7	9,450.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m³) = (C)/(D)	1,364	1,353	1,363
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,360		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	7,339.0	7,339.0	7,339.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	21,530.0	21,520.0	21,532.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	14,191.0	14,241.0	14,199.0
D Volumen del Molde (cm³)	9,450.7	9,450.7	9,450.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m³) = (C)/(D)	1,502	1,507	1,502
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,504		

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)				
IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	711.20	506.40	
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	726.00	519.50	
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	442.00	312.30	
	Peso Especifico Aparente = $A/(B-C)$	2.50	2.44	2.47
	Peso Especifico Aparente SSS = $B/(B-C)$	2.58	2.51	2.53
	Peso Especifico Nominal = $A/(A-C)$	2.64	2.61	2.63
	% de Absorción = $((B - A)/A) \times 100$	2.08	2.59	2.33

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm^3)	1,380
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm^3)	1,504
C	Gravedad Especifica de Masa	2.47
D	Peso de los Solidos (gr)	2,474
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		45.0
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		39.2

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	482.34	521.34
B	Peso Seco de la muestra (gr)	478.12	515.89
C	Peso del agua en la muestra (gr)	4.22	5.45
D	% de absorcion		2.33
Contenido de Humedad (%)		0.88	1.06
Contenido de Humedad (%)			0.97
Absorcion Electiva (%)			1.36
Humedad Superficial (%)			-

4.1.1.3. Cemento

El cemento utilizado para los ensayos fue el Cemento Andino T-I (bolsa de 3 pliegos), posee las siguientes características:

- Un peso específico de 3.11
- Tiene alto calor de hidratación

- No es resistente a los sulfatos

4.1.1.4. Agua

El agua es uno de los componentes en la elaboración del concreto, pues la presencia de ella reacciona químicamente permitiendo la formación de gel.

El agua no presenta inconveniente alguno para la elaboración del concreto ya que se usó el agua potable apta para el consumo humano de la red que alimenta los laboratorios empleados.

4.1.2. Método de diseño utilizado y especificaciones técnicas asumidas para realizar los ensayos del concreto

Para el diseño del concreto después de haber concluido los ensayos para determinar todas las características físicas de los materiales, se procede al diseño de mezcla. Independientemente que las características finales del concreto que se indican en las especificaciones técnicas o dejadas al criterio del profesional responsable del diseño de mezcla, las cantidades de materiales por metro cúbico de concreto pueden ser determinadas, cuando se emplea el método del comité 211 del ACI y se sigue los siguientes pasos:

1. Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia a la compresión especificada y la desviación estándar de la compañía constructora.
2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
3. Selección del asentamiento.
4. Selección del volumen unitario del agua de diseño.
5. Selección del contenido de aire.
6. Selección de la relación agua / cemento por resistencia y durabilidad.

7. Determinación del factor cemento.
8. Determinación del contenido del agregado grueso.
9. Determinación de la suma de los volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso.
10. Determinación del volumen absoluto del agregado fino.
11. Determinación del peso seco del agregado fino.
12. Determinación de los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado grueso y agregado fino.
13. Corrección de los valores de diseño por humedad del agregado.
14. Determinación de la proporción en peso, de diseño y de obra.
15. Determinación de los pesos por tanda de una bolsa.
16. Dosificación de fibra de acuerdo a diseño.

4.1.2.1. Desarrollo de diseño de mezcla para una resistencia de $f'_c = 210$ kg/cm², para pavimentos rígidos.

Con la información de las características de los agregados finos y gruesos y con la utilización de las tablas indicadas en el ítem 2.2.5 (tablas 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9), se procede al cálculo de diseño de mezclas y su corrección:

BM

DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI			
Cantera de donde se extraen los materiales : CHACCO			
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO			
Resistencia a la compresión especificada del Concreto (f_c) =	210	kg / cm ²	
Desviación estándar de antiguos ensayos realizados en esta Cantera (σ) =	51	kg / cm ²	
Resistencia promedio a la compresión del Concreto (f_{cr}) =	294	kg / cm ²	
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES			
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Peso específico de masa :	2.38	Tamaño máximo nominal (Pulg.) :	1 1/2 "
Absorción (%) :	3.96	Peso seco compactado (kg / m ³) :	1504.00
Contenido de Humedad (%) :	5.19	Peso específico de masa :	2.47
Módulo de finura :	3.08	Absorción (%) :	2.33
		Contenido de Humedad (%) :	0.97
CEMENTO		AGUA	
Tipo de Cemento Portland a usar :	ASTM Tipo 1 "Andino"	FUENTE: Red de agua potable	
Peso Específico :	3.15	P.E. kg/m ³	1000
DISEÑO DE MEZCLA			
Selección del Asentamiento :		Tipo de consistencia : Plástica	
		Asentamiento : 3" a 4"	
Tipo de Concreto a diseñar :		Concreto sin aire incorporado	
Volumen unitario de Agua :		193.00	lt / m ³
Contenido de aire total :		1.50	%
Relación Agua / Cemento :		0.56	
Factor cemento :		Factor Cemento =	345.00 Kg / m ³
		Factor Cemento =	8.1 Bolsas / m ³
Contenido de Agregado Grueso	Agregado Grueso Seco Compactado por Unidad de Volumen del Concreto :		0.65 m ³
	Peso del Agregado Grueso :		977.60 Kg / m ³
Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los materiales		Cemento :	0.110 m ³
		Agua	0.193 m ³
		Aire	0.015 m ³
		Agregado Grueso :	0.396 m ³
		Suma de Volúmenes :	0.713 m ³
Contenido de Agregado Fino		Volumen Absoluto de Agregado Fino :	0.287 m ³
		Peso del Agregado Fino seco	682 Kg / m ³
Cantidad de materiales a ser empleados como valores de diseño po m ³ .		Cemento	345.00 Kg / m ³
		Agua de diseño :	193.00 lt / m ³
		Agregado Fino seco :	682.00 Kg / m ³
		Agregado Grueso seco	978.00 Kg / m ³
Cantidad de materiales en peso seco que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento.		Cemento	42.50 Kg / saco
		Agua de diseño :	23.78 lt / saco
		Agregado Fino seco :	84.01 Kg / saco
		Agregado Grueso seco :	120.48 Kg / saco
Proporción en peso de los materiales sin ser corregidos por Humedad del Agregado		Cemento	1.0
		Agregado fino seco :	2.0
		Agregado grueso seco :	2.8
		Agua de Diseño :	23.8 lt / saco
CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE LOS VALORES DE DISEÑO			
Cantera de donde se extraen los materiales : CHACCO			
Contenido de Humedad de los Agregados :		Agregado Fino	5.19 %
		Agregado Grueso	0.97 %

Peso Húmedo de los Agregados :	Agregado Fino	717.00	Kg / m ³
	Agregado Grueso	987.00	Kg / m ³
Humedad Superficial de los Agregados :	Agregado Fino	1.23	%
	Agregado Grueso	-1.36	%
Aporte de Humedad de los Agregados :	Agregado Fino	8.00	lt / m ³
	Agregado Grueso	-13.00	lt / m ³
	Aporte Total	-5.00	lt / m ³
Agua Efectiva :	Agua Efectiva	198.00	lt / m ³
Relación Agua / Cemento de Diseño :		0.56	
Peso de los materiales corregidos por humedad a ser empleados en las mezclas de prueba por m³.	Cemento	345.00	Kg / m ³
	Agua Efectiva	198.00	lt / m ³
	Agregado Fino Húmedo	717.00	Kg / m ³
	Agregado Grueso Húmedo	987.00	Kg / m ³
Relación Agua / Cemento Efectiva :		0.57	
Cantidad de materiales corregidos por humedad que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento.	Cemento	42.5	Kg / saco
	Agua Efectiva	24.4	lt / saco
	Agregado fino húmedo	88.3	Kg / saco
	Agregado grueso húmedo	121.6	Kg / saco
Proporción en peso de los materiales corregidos por Humedad del Agregado	Cemento	1.0	
	Agregado fino húmedo	2.1	
	Agregado grueso húmedo	2.9	
	Agua Efectiva	24.4	lt / saco

CONVERSION DE DOSIFICACION DE PESO A VOLUMEN				
Peso Unitario Suelto Seco PUSK Kg/m³ :	Agregado Grueso :	1360.0	Agregado Fino :	1596.0
Peso por pie cubico	Cemento	42.5	Kg / pie ³	
	Del Agregado fino	48.0	Kg / pie ³	
	Del Agregado grueso	39.2	Kg / pie ³	
Proporción en Volumen de los materiales corregidos por Humedad del Agregado.	Cemento	1		
	Agregado fino húmedo	1.8		
	Agregado grueso húmedo	3.1		
	Agua Efectiva	24.4	lt / saco	

Para el concreto reforzado con fibras de acero Wirand® FF1, la guía de aplicación del hormigón reforzado con fibras Maccaferri según el tipo de fibra y espesor, recomienda:

Wirand® FF1 = 20.00 kg/m³
 → 3.85 kg/saco

4.1.2.2. Dosificación y características mecánicas de la fibra de acero empleado

Para el concreto reforzado con fibras, la cantidad de material empleado fue de 20 Kg. por 1 m³. Se empleó fibra Wirand® FF1 en alambre de acero trellado de la marca MACCAFERRI empaque de 20 kg con las siguientes características mecánicas:

- Diámetro D: 1.00 mm
- Largo L: 50 mm
- Rm (Tensión de ruptura por tracción del alambre): > 1100 MPa
- DI (Elongación a la ruptura): <4%
- E (Modulo de elasticidad): 210,000MPa
- Relación de esbeltez L/D: Relación entre el Largo y el Diámetro $50/1.00 > 50$

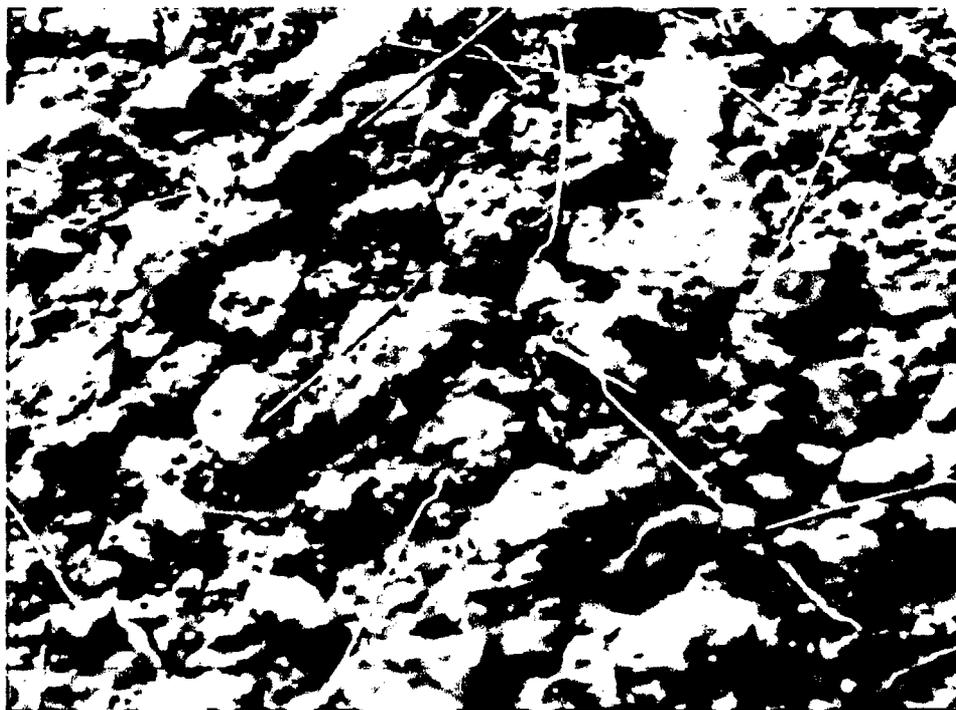
Las fibras metálicas ofrecen muchos beneficios al concreto. Reforzar el concreto con fibras metálicas ofrece a los constructores la posibilidad de eliminar el habilitado y la colocación de mallas o varillas.



4.1.2.3. Preparación de Mezclas

Para llevar a cabo la investigación se realizaron ensayos comparativos entre un concreto patrón (dosificación sin fibra metálicas) y concreto reforzado con fibras de acero (SFRC).

Las fibras de acero se incorporó directamente al concreto, cómo si se tratara de un agregado o aditivo más, agregando poco a poco directamente en la mezcladora de concreto a máximas revoluciones para asegurar su correcta distribución. Es importante que al mezclar las fibras de acero con el concreto, se distribuyan uniformemente mientras se mezclan en la mezcladora, para evitar que las fibras se concentren solo en ciertas partes, se recomienda un tiempo de mezclado de 10 minutos.



4.1.2.4. Fabricación de Probetas

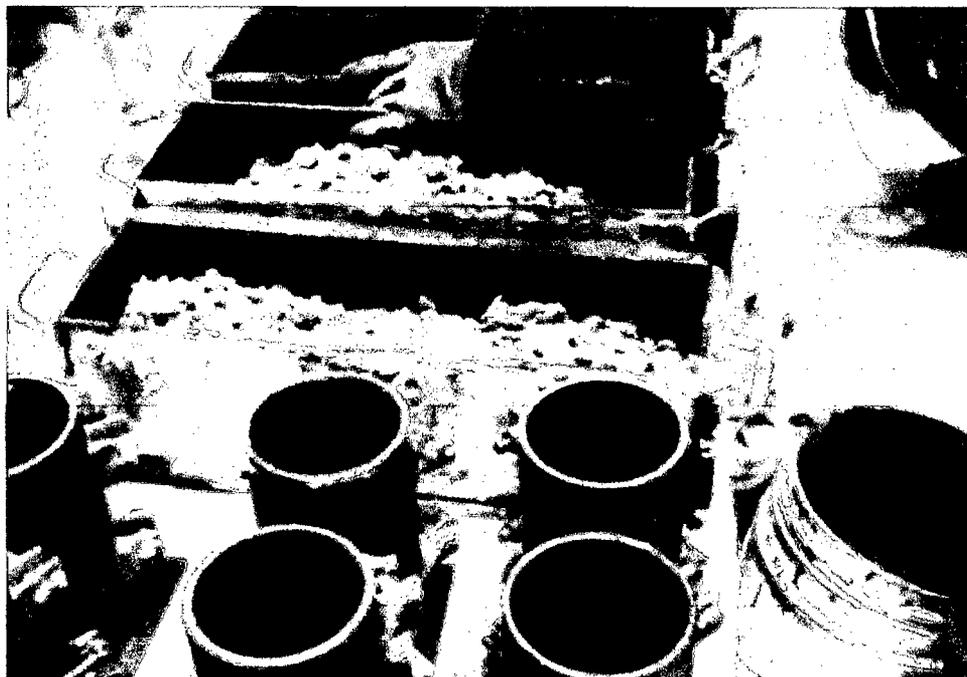
Para poder apreciar el comportamiento del concreto respecto al tiempo, se elaboraron probetas cilíndricas (15 cm de diámetro y 30 cm de altura) y probetas de sección prismática (15 cm. x 15 cm. x 50 cm.) tanto para concreto patrón (dosificación sin fibra metálicas) y concreto reforzado con fibras metálicas (SFRC).

Los moldes de las probetas prismáticas, así como las cilíndricas fueron ubicados en un lugar cercano al trompo de preparación de la mezcla del concreto preparado y se aseguró que el sitio fuera una superficie plana.

Para el caso de los moldes prismáticos, se llenaron hasta la mitad con el concreto mezclado incorporado de fibras, se varilló 63 veces en espiral y se golpeó con el martillo de goma 15 veces en el perímetro, este procedimiento se llevó a cabo dos veces, es decir, por el número de capas. Al final se añadió un poco más de concreto para enrasarlo y colocar su nomenclatura.

El procedimiento que se siguió para las probetas cilíndricas fue el siguiente: se rellenó el concreto a cada tercio, se realizó el varillado en espiral para evitar la segregación del concreto, luego se realizaron los golpes con el martillo de goma, se repitió este procedimiento por las tres capas y por último se agregó un poco de concreto para el enrasado final (ver referencias en ASTM C192).

Los moldes se removieron al día siguiente de su preparación y fueron llevados cuidadosamente a una habitación de curado hasta los 28 días de su elaboración. Se extrajeron de la misma forma para el ensayo mecánico y fueron cubiertos con un manto húmedo hasta el realizar el ensayo respectivo.



4.1.3. Ensayos del concreto fresco

Una vez que se consideraron los ingredientes del concreto, examinaremos las propiedades del concreto fresco recién mezclado. Puesto que las propiedades en el largo plazo del concreto como resistencia, estabilidad del volumen y durabilidad son severamente afectados por el grado de compactación, es esencial que la consistencia o manejabilidad del concreto fresco sean tales que el concreto pueda compactarse adecuadamente y ser transportado, colocado y acabado con la facilidad suficiente para que no segregue, lo cual perjudicaría la compactación. Por otro lado el control de calidad del concreto fresco depende en primera instancia de los procedimientos de muestreo que permitan contar con porciones representativas, y luego, el conocimiento de las propiedades en este estado y las pruebas que lo evalúan.

La Norma ASTM C-172, da las pautas a seguirse en el muestreo, y que consisten básicamente en:

- El tiempo transcurrido entre la obtención de dos porciones para formar una muestra debe ser como máximo 15 min.
- Las muestras deben transportarse al sitio donde se realizarán los ensayos o donde se moldearán probetas, teniendo que efectuarse un re-mezclado con lampa para uniformizar la mezcla luego del transporte.
- Las pruebas de control de concreto fresco deben efectuarse a más tardar 5 min. después de obtenida la muestra.
- El moldeo de probetas para ensayos de compresión debe iniciarse dentro de los 15 min. luego del muestreo.
- El tiempo entre la obtención y el uso de la muestra debe ser el menor posible, cuidando en todo momento de protegerla del sol, el viento y otras fuentes de evaporación.
- El tamaño mínimo de muestras para ensayos de compresión debe ser 1 pie³.
- El muestreo de mezcladoras estacionarias o camiones mezcladores debe realizarse del tercio central de la carga, y en por lo menos dos porciones que se integrarán en una sola muestra.
- El muestreo de concreto ya descargado se debe efectuar con por lo menos 5 porciones que se integraran en una muestra.

Es importante tener en cuenta que todas estas limitaciones están establecidas para que la muestra que se obtenga sea óptima desde el punto de vista estadística, y que si bien el incumplimiento de alguna de ellas no ocasiona un perjuicio aparente al concreto, sí puede estar afectando al resultado del control, y consecuentemente obtener un mal resultado de un buen concreto.

4.1.3.1. Ensayo del Cono de Abrams - Asentamiento (NTP 339.035)

El ensayo de slump proporciona información útil sobre la uniformidad de las mezclas y es una herramienta muy importante en el control de calidad del concreto fresco. Las variaciones en el slump en varias mezclas de una misma dosificación indican que algún cambio ha ocurrido en las características físicas y granulometría de los agregados, el contenido de aire, la temperatura, el uso de aditivos.

Equipos y Accesorios:

- Barra compactadora, recta de acero liso de 16 mm (5/8") de diámetro y aproximadamente 600 mm (24") de largo, con un extremo redondeado con forma de punta redondeada. En ningún caso se usa fierro corrugado.
- Cono de Abrams, molde metálico con forma de tronco de cono hueco, con los dos círculos de las bases paralelos entre sí y formando ángulo recto con el eje del cono. El diámetro de la base inferior es 20 cm. y de 10 cm. en la base superior con un espesor mínimo de 1,5 mm y la altura del molde es de 30 cm. El molde está provisto de agarradores y aletas de pie.

Procedimiento:

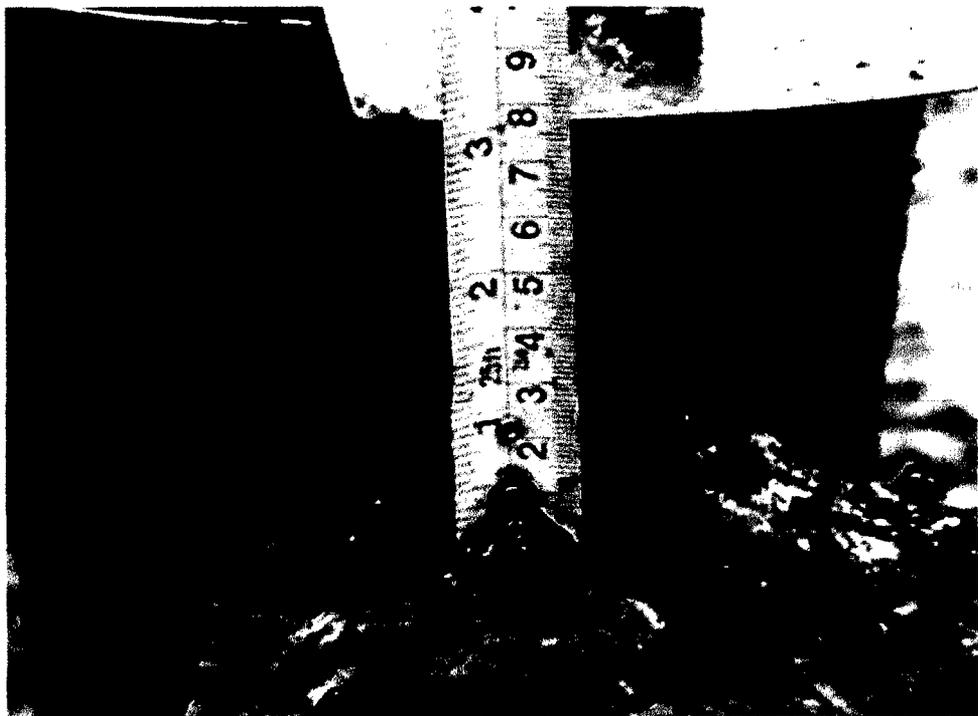
- Se coloca el molde sobre una superficie plana, manteniéndolo inmóvil pisando las dos aletas de pie del cono.
- Se realiza el llenado del concreto en 3 capas de aproximadamente 1/3 del volumen del cono cada una y se compactan con 25 golpes, distribuyendo uniformemente los golpes en la sección transversal de cada capa.
- Luego se llena el cono hasta los 2/3 del volumen total y se compacta de nuevo 25 veces, penetrando esta capa pero no

atravesando hasta el fondo, sólo penetrando ligeramente en la capa inmediata inferior.

- Se llena el cono en exceso y se compacta de nuevo con 25 golpes. Si después de compactar hubiera una deficiencia de material, se añade la cantidad necesaria para mantener un exceso por encima del molde.

- Finalmente, se retira el exceso de concreto de la parte superior del cono utilizando la varilla de acero o la plancha de albañil y enrasar. Se limpia el concreto derramado en la base del cono y se levanta el mismo sin movimientos laterales o torsionales.

- Para terminar se coloca la varilla de acero horizontalmente a lo largo del molde invertido de manera que la varilla se extienda hasta el concreto revenido. Se mide la distancia de la parte inferior de la varilla de acero al centro de la cara superior del concreto deformado.



Asentamiento de concreto patrón:

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Asentamiento	3 ½"	3"	3 ¼"

Promedio: 3 ¼"

Asentamiento de concreto reforzado con fibra Wirand® FF1 (20 kg/m³):

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Asentamiento	3"	3 ¼"	3"

Promedio: 3"

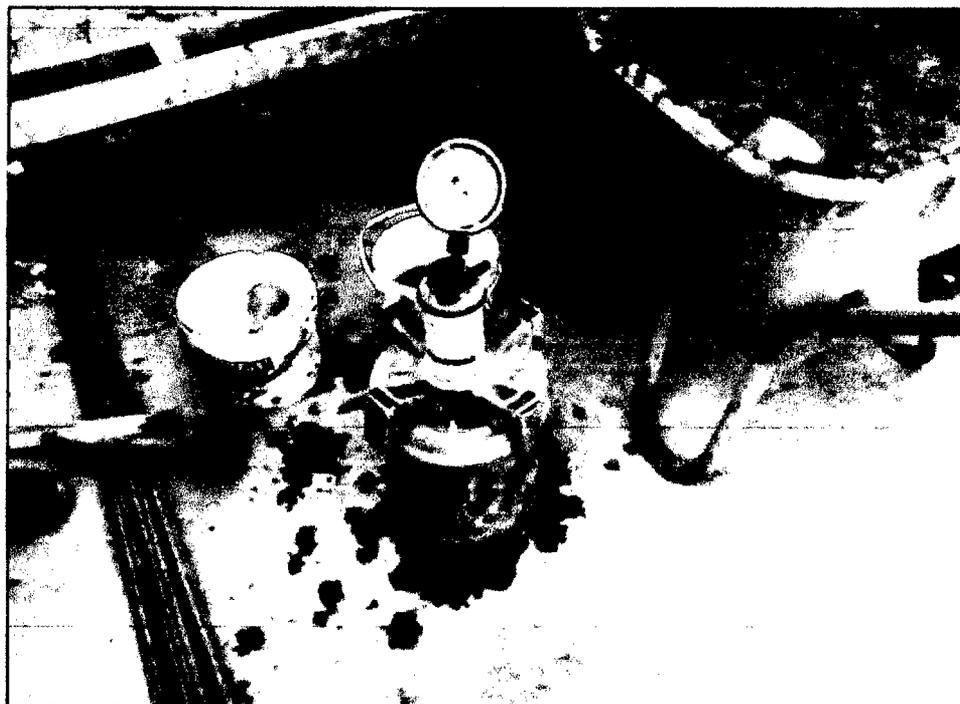
4.1.3.2. Contenido de Aire (NTP 339.036)

Toda mezcla de concreto tiene aire atrapado entre los materiales (agua, cemento y agregados). La cantidad de este aire depende de las propiedades físicas del agregado, del método de compactación y de las proporciones en que se han combinado los ingredientes en la mezcla. Generalmente este aire ocupa del 1% al 3% de volumen de la mezcla salvo que el concreto este expuesto a cambios bruscos de temperatura (congelarse y descongelarse), para lo cual se necesita incorporar aire mediante el uso de aditivos, por lo tanto el volumen de aire en la mezcla aumentaría. Hay tres métodos para medir el contenido de aire total en el concreto fresco:

- a) Gravimétrico
- b) Volumétrico
- c) De presión

El método más confiable y exacto es el de presión, el cual se basa en la relación entre el volumen de aire y la presión aplicada(a una

temperatura constante). No se necesita conocer las proporciones de la mezcla o las propiedades de los materiales, el porcentaje aire se obtiene directamente.



Contenido de aire de concreto patrón:

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Aire	1.80%	1.70%	1.60%

Promedio: 1.7%

Contenido de aire de concreto reforzado con fibra Wirand® FF1 (20 kg/m³):

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Aire	1.80%	1.70%	1.70%

Promedio: 1.75%

4.1.4. Ensayos del concreto endurecido

En el concreto endurecido se pueden realizar muchos ensayos de tipo destructivo y no destructivo para evaluar las características en este estado, pero solo se tratara de los que se aplican en nuestro país y ciudad de manera rutinaria.

4.1.4.1. Ensayo de resistencia a la compresión axial (NTP 339.034)

Consistió en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra. El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra. Se aplicó la velocidad de carga continua y constante desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta.

Para poder apreciar el comportamiento de la resistencia del concreto respecto al tiempo, ensayamos probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para edades de 7, 14 y 28 días.

Procedimiento:

1. Las probetas fueron ensayadas a las edades de 7, 14, y 28 días.
2. se llevó a cabo la medición de las probetas.
3. Previo al ensayo, se observó que las placas de carga y caras de ensayo se encuentren absolutamente limpias, y que la probeta se encuentre correctamente centrada entre las placas de carga.
4. La carga se aplicó en forma continua, evitando choques. Se aplicó la velocidad de carga continua y constante desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta.
5. Luego se registró la carga máxima P.

Expresión de resultados:

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

$$f_c = \frac{4P}{\pi D^2}$$

Dónde:

f_c : Es la resistencia de rotura a la compresión (kg/cm²)

P : La carga máxima de rotura (kg)

D : Es el diámetro promedio de la probeta cilíndrica (cm).





Resistencia a la compresión de concreto patrón

Fecha de moldeo : 02/12/2013

Fecha de rotura : 09/12/2013

Tiempo de curado : 7 días

N° Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'_c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CPC - 7D	15	320.3	32659.5	184.8	88.01
CPC - 7D	15	311.8	31799.6	179.9	85.69
CPC - 7D	15	294.5	30031.5	169.9	80.93

f'_c Promedio: 178.2
Desv. Estándar: 7.6

Fecha de moldeo : 02/12/2013

Fecha de rotura : 16/12/2013

Tiempo de curado : 14 días

N° Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'_c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CPC - 14D	15	426.3	43465.8	246.0	117.13
CPC - 14D	15	423.9	43226.7	244.6	116.48
CPC - 14D	15	417.3	42550.3	240.8	114.66

f'_c Promedio: 243.8
Desv. Estándar: 2.7

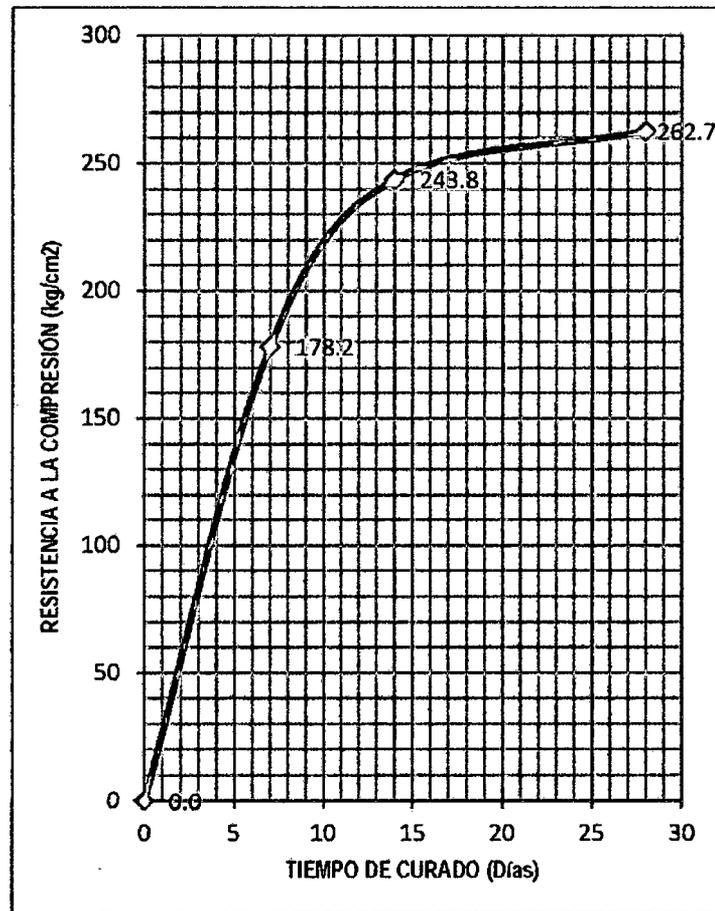
Fecha de moldeo : 02/12/2013

Fecha de rotura : 30/12/2013

Tiempo de curado : 28 días

N° Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'_c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CPC - 28D	15	449.2	45806.5	259.2	123.43
CPC - 28D	15	455.3	46430.5	262.7	125.12
CPC - 28D	15	461.4	47054.6	266.3	126.80

f'_c Promedio: 262.7
Desv. Estándar: 3.5



Resistencia a la compresión de concreto reforzado con fibra Wirand® FF1 (20 kg/m³)

Fecha de moldeo : 06/12/2013

Fecha de rotura : 13/12/2013

Tiempo de curado : 7 días

N° Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'_c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CRC - 7D	15	314.0	32023.8	181.2	86.29
CRC - 7D	15	318.5	32477.9	183.8	87.52
CRC - 7D	15	299.7	30564.8	173.0	82.36

f'_c Promedio: 179.3
Desv. Estándar: 5.7

Fecha de moldeo : 06/12/2013

Fecha de rotura : 20/12/2013

Tiempo de curado : 14 días

N° Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'_c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CRC -14D	15	426.5	43486.2	246.1	117.18
CRC -14D	15	416.2	42438.3	240.2	114.36
CRC -14D	15	421.5	42984.7	243.2	115.83

f'_c Promedio: 243.2
Desv. Estándar: 3.0

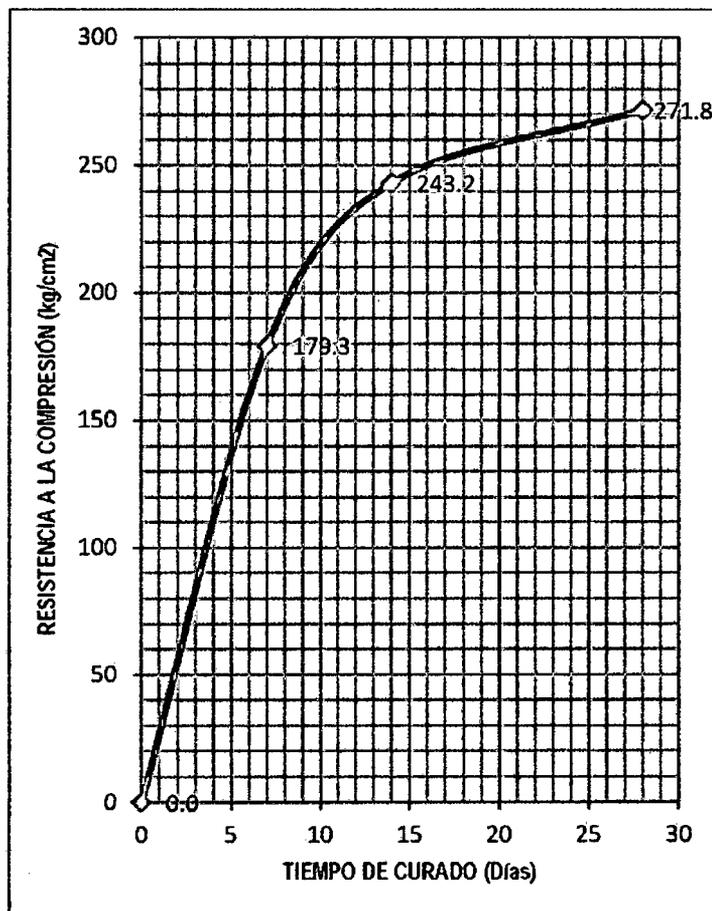
Fecha de moldeo : 06/12/2013

Fecha de rotura : 03/01/2014

Tiempo de curado : 28 días

N° Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'_c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CRC -28D	15	462.1	47117.0	266.6	126.97
CRC -28D	15	466.2	47540.0	269.0	128.11
CRC -28D	15	484.8	49433.0	279.7	133.21

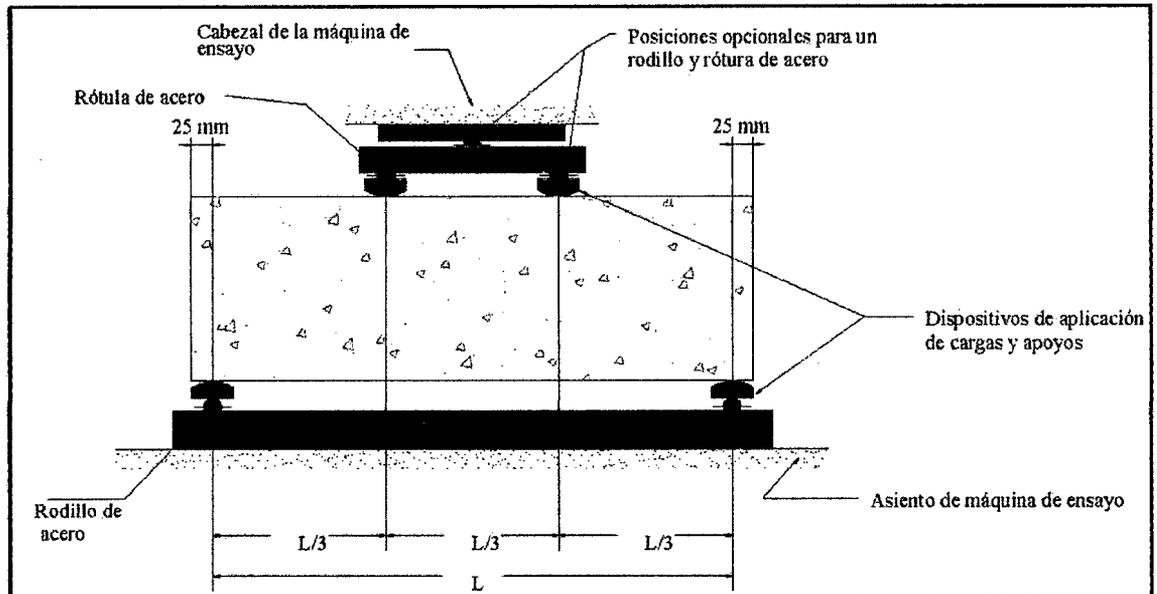
f'_c Promedio: 271.8
Desv. Estándar: 7.0



4.1.4.2. Ensayo de resistencia a la flexión o módulo de rotura (NTP 339.078)

La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (M_r) que consiste en ensayar una probeta de sección prismática de 15 cm. x 15 cm. x 50 cm., apoyándola sobre dos soportes separados 45 cm. y aplicando una carga a los tercios de la luz libre (a 15 cm. de cada extremo) hasta que la falla ocurra (véase la figura).

Para poder apreciar el comportamiento de la resistencia del concreto respecto al tiempo, ensayamos viguetas para edades de 14, 28 y 45 días.



Procedimiento:

1. Trazar rectas finas sobre las cuatro caras mayores que marquen las secciones de apoyo.
2. Verificar y registrar las dimensiones de la probeta, expresándola en cm.
3. Limpiar la superficie de las piezas de apoyo y de carga y las zonas de contacto de la probeta.
4. Colocar la probeta en la prensa de ensayo, y haciendo coincidir las líneas de trazado con las piezas de apoyo y de carga correspondientes.
5. Aplicar la carga a una velocidad que incremente constantemente la resistencia de la fibra extrema hasta producir la rotura de la viga.
6. Luego se registró la carga máxima P.

Expresión de resultados:

La fractura de la probeta de produce dentro del tercio central de la luz de ensayo, se calcula la resistencia a la tracción por flexión como módulo de rotura según la fórmula siguiente:

$$Mr = \frac{PL}{bh^2}$$

Donde:

Mr : Es el módulo de rotura (kg/cm^2)

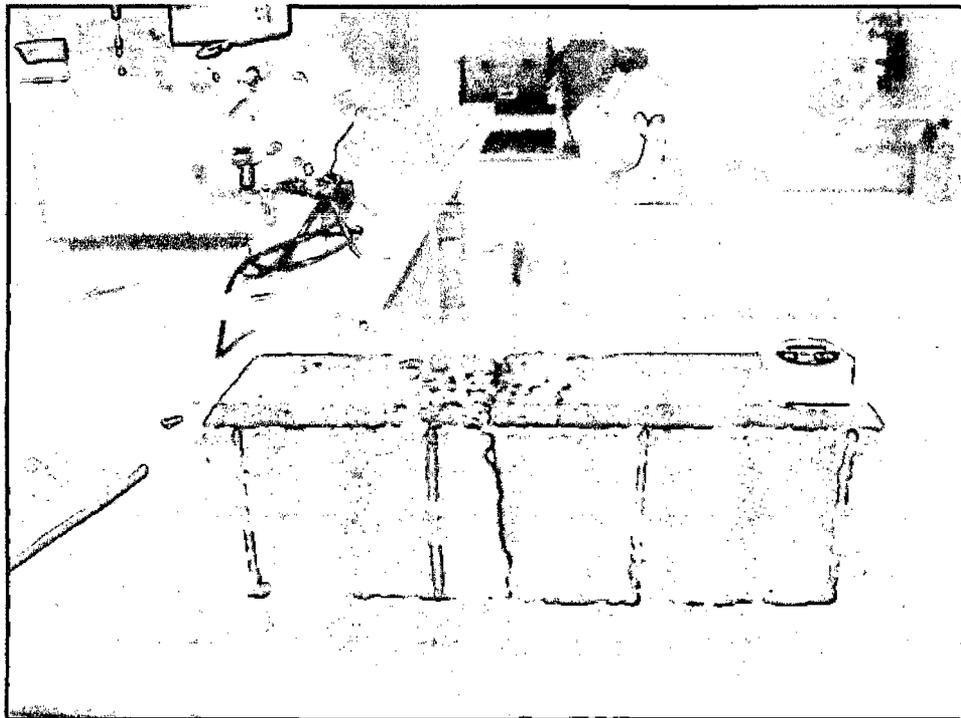
P : Es la carga máxima de rotura (kg)

L : Es la luz libre entre apoyos (cm)

b : Es el ancho promedio de la probeta en la sección de falla (cm)

h : Es la altura promedio de la probeta en la sección de falla (cm)





Resistencia a la flexión o módulo de rotura de concreto patrón

Fecha de moldeo : 09/12/2013
 Fecha de rotura : 23/12/2013
 Tiempo de curado : 14 días

Nº Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 14d	15.3	15.4	23.6	2402.5	29.8
CPF - 14d	15.4	15.6	24.5	2497.3	30.0
CPF - 14d	15.4	15.3	20.5	2086.3	26.0

Mr Promedio: 28.6
 Desv. Estándar: 2.2

Fecha de moldeo : 09/12/2013
 Fecha de rotura : 06/01/2014
 Tiempo de curado : 28 días

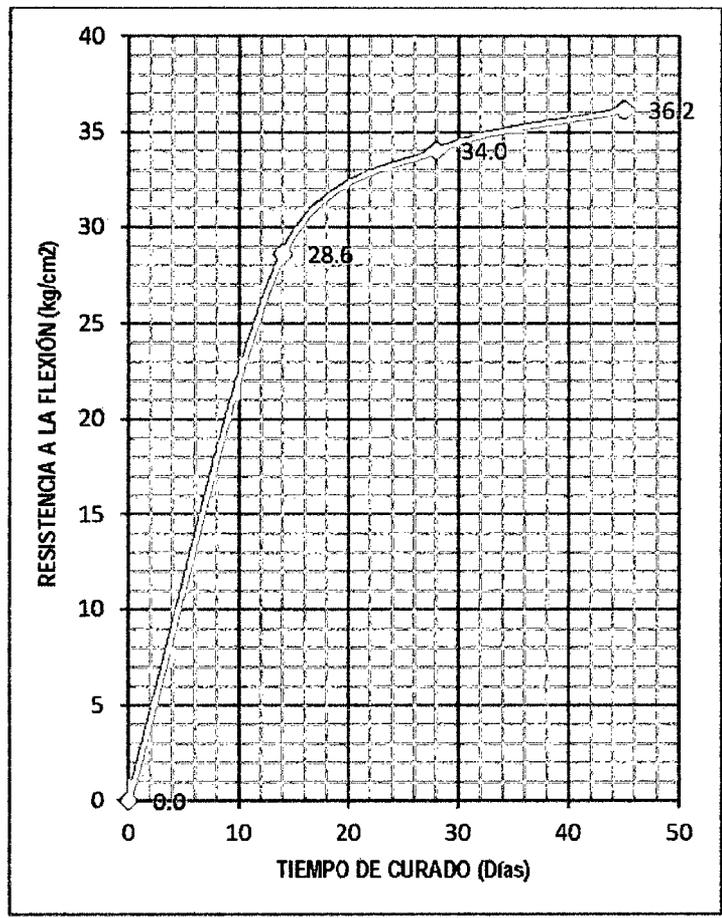
Nº Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 28d	15.4	15.4	27.0	2750.2	33.9
CPF - 28d	15.3	15.4	27.3	2781.8	34.5
CPF - 28d	15.3	15.4	26.7	2718.6	33.7

Mr Promedio: 34.0
 Desv. Estándar: 0.4

Fecha de moldeo : 09/12/2013
 Fecha de rotura : 23/01/2014
 Tiempo de curado : 45 días

Nº Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 45d	15.3	15.3	29.5	3003.1	37.7
CPF - 45d	15.2	15.5	27.0	2750.2	33.9
CPF - 45d	15.3	15.4	29.1	2971.5	36.9

Mr Promedio: 36.2
 Desv. Estándar: 2.0



Resistencia a la flexión o módulo de rotura de concreto reforzado con fibra Wirand® FF1 (20 kg/m³)

Fecha de moldeo : 13/12/2013

Fecha de rotura : 27/12/2013

Tiempo de curado : 14 días

Nº Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 14d	15.4	15.4	30.3	3089.2	38.1
CRF - 14d	15.5	15.3	27.7	2828.7	35.1
CRF - 14d	15.4	15.3	28.8	2940.4	36.7

Mr Promedio: 36.6

Desv. Estándar: 1.5

Fecha de moldeo : 13/12/2013

Fecha de rotura : 10/01/2014

Tiempo de curado : 28 días

Nº Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 28d	15.3	15.4	32.9	3349.8	41.5
CRF - 28d	15.2	15.4	30.7	3126.4	39.0
CRF - 28d	15.2	15.5	31.4	3200.9	39.4

Mr Promedio: 40.0

Desv. Estándar: 1.3

Fecha de moldeo : 13/12/2013

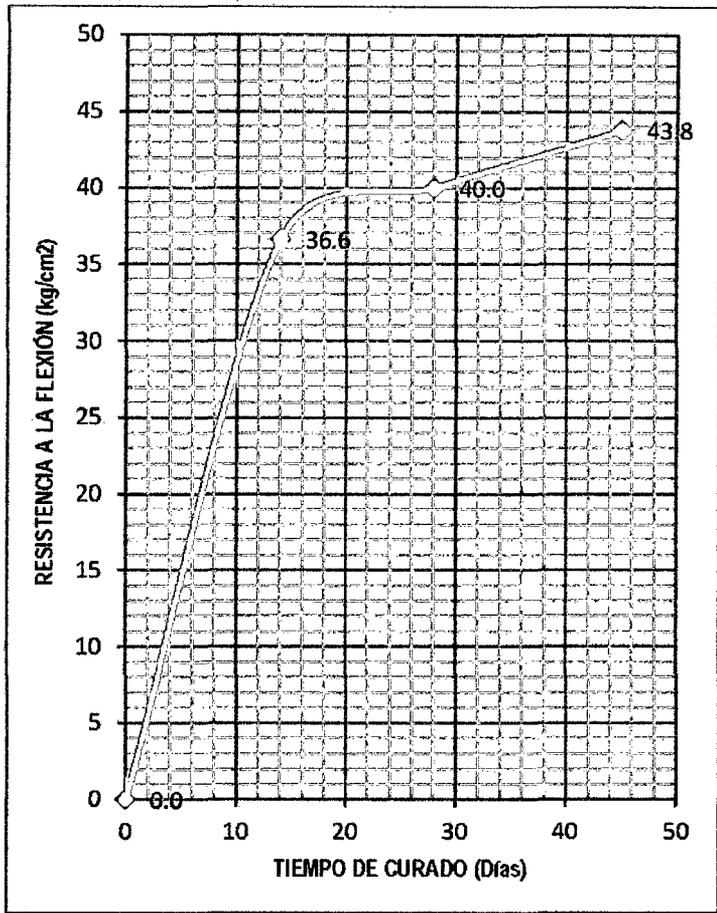
Fecha de rotura : 27/01/2014

Tiempo de curado : 45 días

Nº Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 45d	15.5	15.4	35.8	3647.5	44.7
CRF - 45d	15.4	15.5	35.0	3573.1	43.5
CRF - 45d	15.4	15.3	33.9	3461.4	43.2

Mr Promedio: 43.8

Desv. Estándar: 0.8



4.1.5. Evaluación de la influencia de adición de fibra de acero en las propiedades mecánicas del concreto

4.1.5.1. Efecto de las variables sobre la resistencia a la compresión axial (f_c)

El diseño experimental empleado está basado de dos factores o conjuntos de tratamientos. Hay 2 niveles del factor Tipo de Concreto (concreto patrón y concreto reforzado con fibras de acero (SFRC)) y 3 niveles del factor Edad (7, 14 y 28 días), los cuales se disponen en un diseño factorial; es decir, cada réplica del experimento contiene todas las 2x3 combinaciones de los tratamientos. La implementación comprende la ejecución de 6 tratamientos, con cada 3 repeticiones,

para un total de 18 pruebas. El orden en que se hizo las 18 pruebas se seleccionó al azar, por lo que este diseño es un diseño completamente aleatorizado.

Como variable respuesta se evaluó la resistencia a la compresión axial (f_c). En la tabla se presenta el diseño factorial completo, en la cual se muestra los valores de los niveles de los factores estudiados y la respuesta obtenida de f_c .

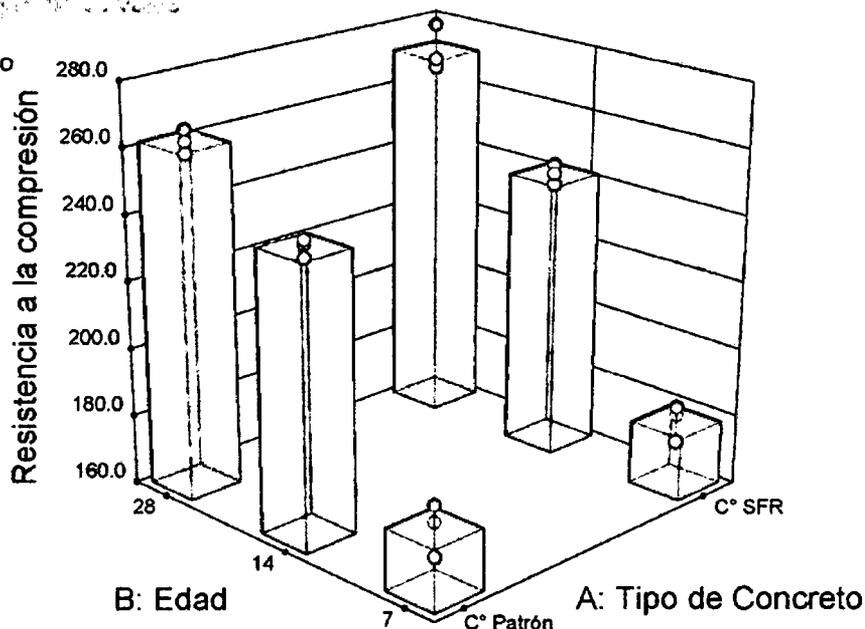
Tipo de Concreto	Edad (días)		
	7	14	28
C° Patrón	184.8	246.0	259.2
	179.9	244.6	262.7
	169.9	240.8	266.3
C° SFR	181.2	246.1	266.6
	183.8	240.2	269.0
	173.0	243.2	279.7

Para interpretar los resultados del experimento, es conveniente construir una gráfica de las respuestas promedio para cada combinación de los tratamientos. Esta gráfica se muestra en la figura [fig. Compresión axial en función]. En general, se consigue una mayor resistencia a la compresión axial con una mayor edad de las probetas, independientemente del tipo de concreto. Sin embargo, siempre es necesario examinar cualquier interacción que sea importante.

Observando la interacción AB, los mejores resultados de resistencia a la compresión axial (f_c) se obtuvo cuando la edad es de 28 días y el tipo de concreto es concreto reforzado con fibras de acero (SFRC), resultando ser un promedio de 272 kg/cm² (tabla); contrariamente se obtiene un menor valor cuando los factores toman los otros niveles.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Resistencia a la compresión (fc)
 ○ Design points above predicted value
 ○ Design points below predicted value

X1 = A: Tipo de Concreto
 X2 = B: Edad



4.1.5.2. Efecto de las variables sobre la resistencia a la flexión (Mr)

El diseño experimental empleado está basado de dos factores o conjuntos de tratamientos. Hay 2 niveles del factor Tipo de Concreto (concreto patrón y concreto reforzado con fibras de acero (SFRC)) y 3 niveles del factor Edad (14, 28 y 45 días), los cuales se disponen en un diseño factorial; es decir, cada réplica del experimento contiene todas las 2x3 combinaciones de los tratamientos. La implementación comprende la ejecución de 6 tratamientos, con cada 3 repeticiones, para un total de 18 pruebas. El orden en que se hizo las 18 pruebas se seleccionó al azar, por lo que este diseño es un diseño completamente aleatorizado.

Como variable respuesta se evaluó la resistencia a la flexión o módulo de rotura (Mr). En la tabla se presenta el diseño factorial

completo, en la cual se muestra los valores de los niveles de los factores estudiados y la respuesta obtenida de Mr.

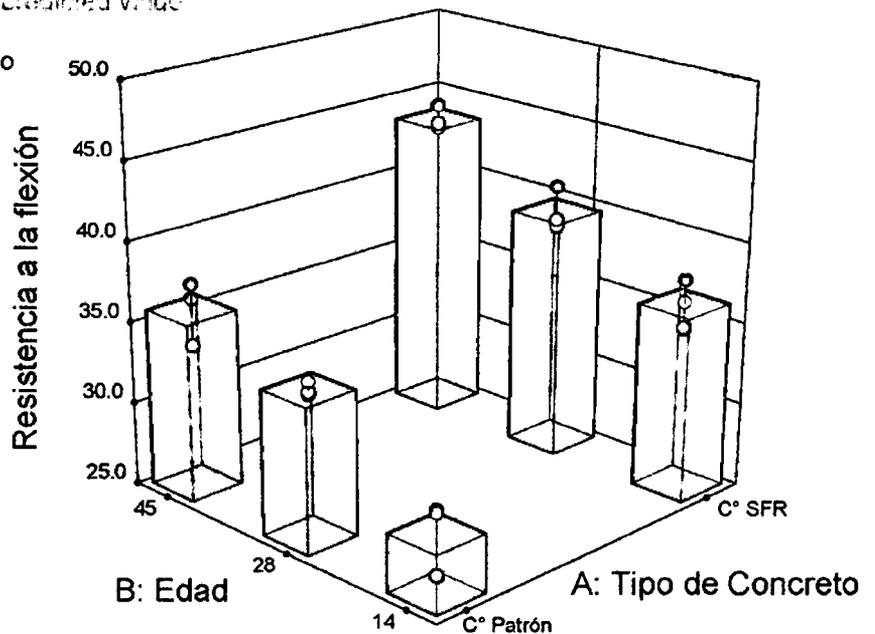
Tipo de Concreto	Edad (días)		
	14	28	45
C° Patrón	29.8	33.9	37.7
	30.0	34.5	33.9
	26.0	33.7	36.9
C° SFR	38.1	41.5	44.7
	35.1	39.0	43.5
	36.7	39.4	43.2

Para interpretar los resultados del experimento, es conveniente construir una gráfica de las respuestas promedio para cada combinación de los tratamientos. Esta gráfica se muestra en la figura. En general, se consigue una mayor resistencia a la flexión o módulo de rotura con una mayor edad de las probetas, independientemente del tipo de concreto. Sin embargo, siempre es necesario examinar cualquier interacción que sea importante.

Observando la interacción AB, los mejores resultados de resistencia a la flexión o módulo de rotura (Mr) se obtuvo cuando la edad es de 45 días y el tipo de concreto es concreto reforzado con fibras de acero (SFRC), resultando ser un promedio de 44 kg/cm² (tabla); contrariamente se obtiene un menor valor cuando los factores toman los otros niveles.

Design-Expert® Software
 Factor Coding: Actual
 Resistencia a la flexión (Mr)
 ● Design points above predicted value
 ○ Design points below predicted value

X1 = A: Tipo de Concreto
 X2 = B: Edad



4.1.6. Diseño de la estructura del pavimento

4.1.6.1. Cálculo del espesor de la base – Método del CBR

Para nuestro caso tomaremos como referencia un CBR de la Sub rasante (valor de diseño) = 10%, y según el siguiente cuadro se puede clasificar como:

C.B.R	CLASIFICACIÓN	USOS
0 - 3	Muy pobre	Sub rasante
3 - 7	Pobre o Regular	Sub rasante
7 - 20	Regular	Sub base
20 - 50	Bueno	Base, Sub Base
50 - 80	Muy Bueno	Base, Sub Base
> a 80	Excelente	Base

Viendo el cuadro anterior, se puede definir que la sub rasante tiene como clasificación general como Regular, y su uso puede ser de sub base.

En pavimentos las fallas que se producen se deben principalmente al desplazamiento o a la falla al corte, de los materiales que componen las diferentes capas, por consiguiente el diseño se basa en los ensayos al corte.

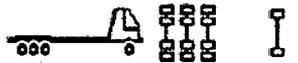
La determinación de la resistencia al corte de un suelo se puede hacer por medio de un ensayo de "Corte Directo" de una prueba "Triaxial" o simplemente midiendo la resistencia a la penetración del material. El método de California fue propuesto por el Ing. Porter en el año 1929 y adoptado por el Departamento de Carreteras de California, así mismo por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Este método si bien es empírico, se basa en un sin número de trabajos de investigación llevados a cabo tanto en los laboratorios de ensayo de materiales, así como en el terreno, lo que permite considerarlo uno de los métodos más usados.

En el gráfico, se encuentra las diferentes curvas para el cálculo del pavimento, donde se considera cargas por rueda comprendidas entre 4000 y 18000lbs.

A.- Datos necesarios para el diseño del pavimento

Los datos necesarios para el diseño del pavimento son:

- CBR de diseño de la Subrasante al 95% de la MDS = 10 %
- Vehículo más pesado que transita por la vía; del estudio de tráfico se tiene el vehículo "C4"

SIMBOLO	DIAGRAMA	LONGITUD MAX. (m)	CARGA POR EJE (Tn)		PESO BRUTO MAXIMO
			EJE DELANTERO	CJTO POSTERIOR	
C4		13.20	7	25	32

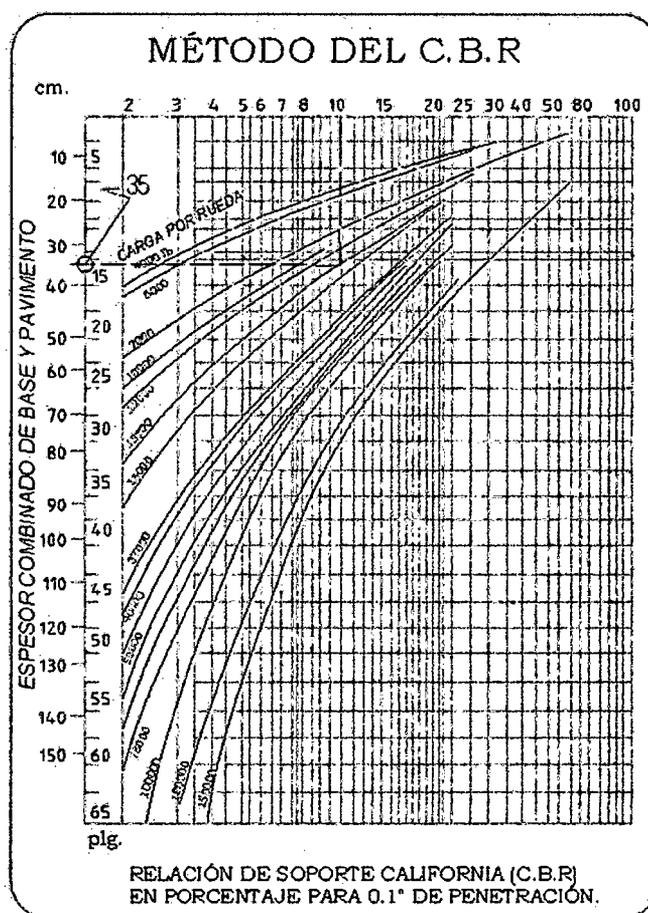
• Carga por rueda:

TIPO	EJE	CARGA POR EJE (lb)	CARGA POR RUEDA (lb)
C4	1 (*)	15435	7718
	2 (**)	55125	13781

* 2 llantas (Eje delantero)

** 4 llantas (Cjto posterior)

Se tomará el mayor = 13781 lb



B.- Estructura del pavimento

Con los datos de diseño y utilizando el gráfico adjunto se obtiene un espesor total del pavimento de:



4.1.6.2. Diseño de la losa – concreto fibroreforzado

A.- Diseño Estructural

El principio general de la metodología de diseño es la determinación del espesor de la losa de concreto o pavimento. La consideración de las características reales del concreto fibroreforzado permite obtener resultados validos en la práctica.

El diseño estructural de losas de concreto fibroreforzado se basa en reglas técnicas y recomendaciones incluidas en el código ingles TR 34/3. Este procedimiento facilita el uso de las propiedades mecánicas naturales del concreto mejorando las propiedades de esfuerzo y comportamiento post fisuración debido a la incorporación de fibras de acero Wirand® FF1.

Las fibras de acero seleccionadas son las fibras Wirand® FF1 de Officine Maccaferri S.p.A. Bologna (Italy). El presente diseño es únicamente valido para las fibras de acero especificadas en la presente evaluación. Las siguientes evaluaciones representan una propuesta para el Ingeniero diseñador y el usuario para el proyecto a desarrollar con el uso de concreto reforzado con fibras de acero Wirand® FF1.

B.- Procedimiento de Cálculo

El procedimiento de cálculo adaptado por el programa PAVE 2008 está basado en los reglamentos mencionados en los párrafos anteriores, el cual puede ser seleccionado por el diseñador según su

preferencia. A partir de un pre-diseño (Peralte de losa y dosificación de fibras metálicas) se determina los esfuerzos admisibles de la estructura.

Luego, se determinan los esfuerzos actuantes debido a las cargas sobre el pavimento, los cambios de temperatura y los esfuerzos de retracción que están presentes en el concreto; en el caso de las cargas se verificará también si la carga es en el borde del paño, en la esquina o en el centro, considerando también si las juntas serán con dowells o no.

Estos esfuerzos actuantes son amplificados utilizando los factores de seguridad que estipule el código seleccionado para el diseño.

Finalmente, se compararán los esfuerzos actuantes con los admisibles por la estructura y se calcularán factores de seguridad que serán los que determinen la certeza del diseño recomendado.

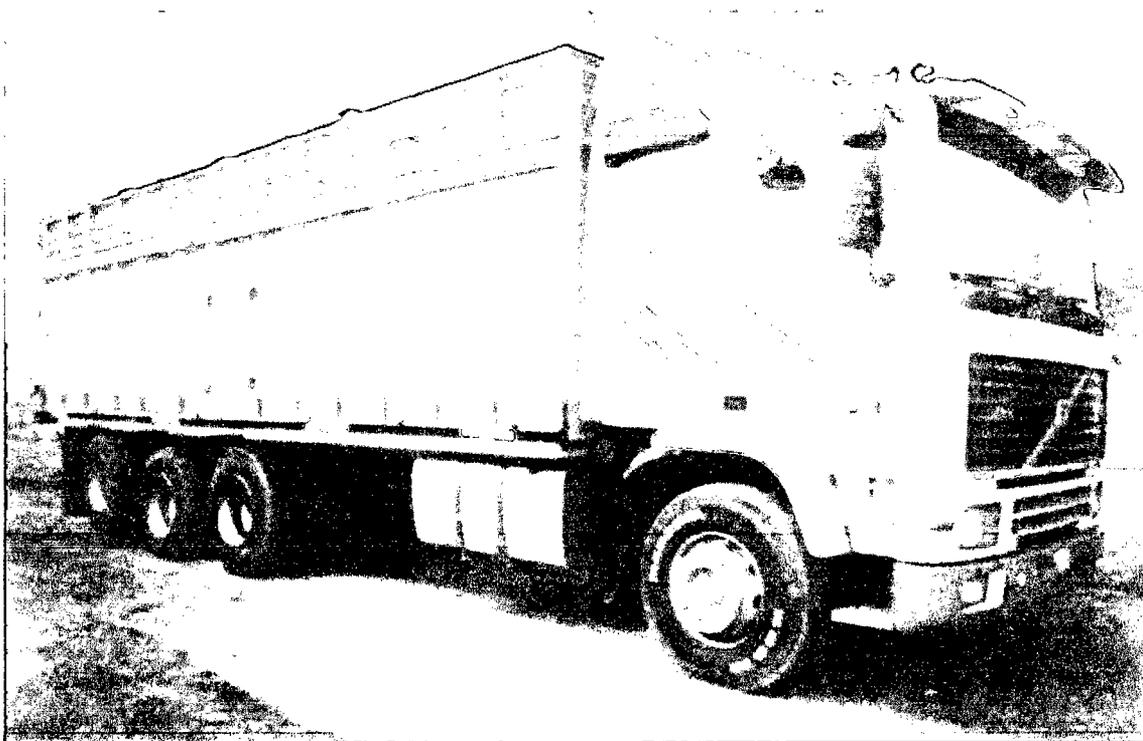


C.- Datos de Diseño

Los datos para el diseño son:

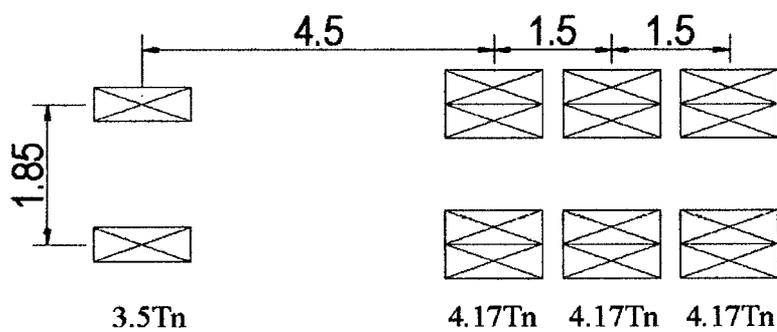
- CBR de Sub rasante = 10%.
- CBR material de base = 29%
- Espesor de base = 20cm
- Resistencia de Concreto $f_c = 210\text{kg/cm}^2$
- Módulo de rotura de 3.10MPa.
- Espesor de Losa 15.00cm con de fibra de acero Wirand[®] FF1 = 20kg/m³

• Carga para el diseño: Camión C4



D.- Distribución de Cargas

Camión tipo C4: Peso bruto = 32tn.



Entonces el peso por cada rueda es de:

Peso por rueda de eje delantero = 3.50tn

Peso por rueda de eje trasero = 2.08tn

E.- Cálculo del espesor de la losa de concreto con Pave 2008

A continuación se colocarán los pasos para iniciar el diseño de un pavimento:

The screenshot shows the 'Pave 2008 v. 1.1.0' software interface. The main window is titled 'Información del Proyecto' and contains several input fields and sections:

- Nombre Proyecto:** Proyecto de Tesis: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO.
- Autor del diseño:** WALTER REYNAN QUIISPE CCAHUÍN
- Ubicación Proyecto:** AA.HH. 11 DE JUNIO, HUAMANGA - AYACUCHO
- Contratista:** MACCAFERRI
- Ciente:** (Empty field)
- Observaciones:** EL PRESENTE DISEÑO ES ÚNICAMENTE VALIDO PARA LAS FIBRAS DE ACERO ESPECIFICADAS EN LA PRESENTE EVALUACIÓN.
- Fecha:** 24/01/2014
- Área Total:** 16.00 m²

On the left side, there is a sidebar menu with options like 'Datos de Entrada', 'Verificación ELU', and 'Verificación ELS'. At the bottom, the status bar shows 'TR34/3 Proyecto de Tesis - Walter Reynán Quispe Ccahuín Sistema SI'.

Se introducen los principales datos del sistema (espesor y dosificación de fibras a verificar), datos de temperatura, calidad de concreto, valores de resistencia, etc. como se muestra a continuación:

1) Pave 2008 v. 1.1.0

Archivo Herramientas Ayuda

Información del Proyecto Datos de Entrada Verificación ELU Verificación ELS

Información del Proyecto Condiciones de la subrasante Cargas

Detos de Entrada

Informaciones del Sistema...
 Condiciones de la subrasante
 Cargas
 Cargas Distribuidas
 Simple/doble carga pun.
 Sistema de Estarrias
 Montacarga
 Camión

Verificación ELU

Verificación ELS

C 20/25

FF1
 20 kg/m²
 h = 150 mm
 k = 0.048 N/mm³
 Con juntas de control
 Código:
 EC 2 / TR34/3

TR34/3

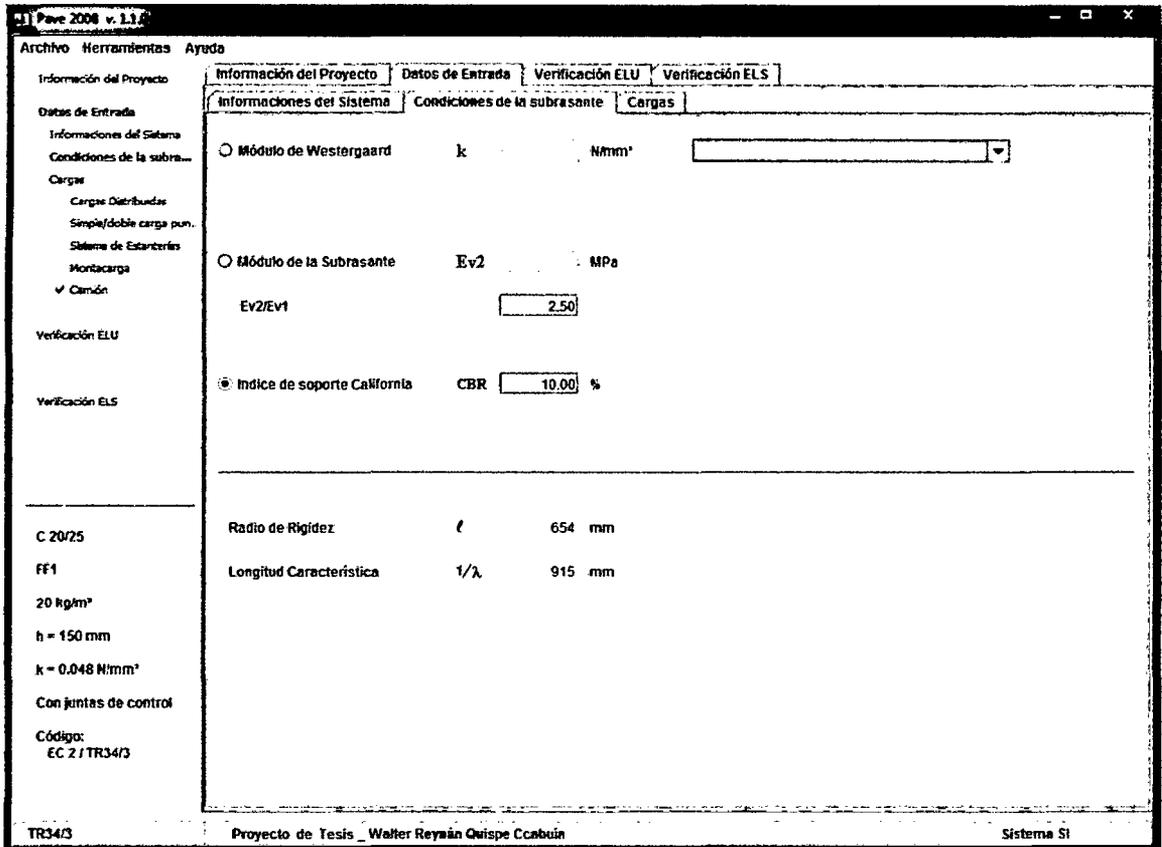
Proyecto de Tesis _Walter Reyán Quispe Ccahuín

Sistema SI

Espesor de la Losa	h	150	mm	Módulo de sección	W _c	3750	mm ³ /mm
Clase del Concreto		C 20/25		Módulo de Young	E _c	29962	MPa
				Módulo de Rotura	f _{ct,k,d}	3.33	MPa
Coefficiente de Poisson	ν	0.20		Factor de Encogimiento	ε _{sh}	0.40	‰
Espaciamiento entre juntas	L _x	3.60	m	Área del Paño		16	m ²
Espaciamiento entre juntas	L _y	4.50	m	Relación de Aspecto		1.25	
Gradiente de Temperatura	ΔT	10.00	°C	Coef. de Temperatura	α _T	0.000012	1/K
Coefficiente de Fricción	μ	0.5					
Construcción		<input type="radio"/> Sin juntas		<input checked="" type="radio"/> Con juntas de control			
Fibra de Acero Wirand®		FF1		Dosificación		20	kg/m ²
							R _{ec,3} 48 %
Fibra de PP Fibromac®		12/18		Dosificación		600	g/m ²

Fuede ser considerado Factor de Encogimiento = 0 cuando el espaciamiento de juntas no excede 12 m (39 ft)

Luego se introducen los parámetros de apoyo, como se comentó inicialmente esta losa estará apoyada sobre un suelo con un CBR de 10%, con lo que se podrá determinar el radio de rigidez, longitud característica y tener la consideración de apoyo para el diseño:



Seguidamente, se introducen las cargas que estarán presentes sobre la losa durante su vida útil, entre las cuales el programa determinará cuál es más perjudicial para la losa. En este momento el programa puede determinar las cargas actuantes en el sistema y la carga admisible del sistema, con lo que nos podemos dar una primera impresión de la seguridad de la losa, en este caso contamos para el diseño con la carga más crítica que viene a ser el camión tipo C4:

4)

Archivo Herramientas Ayuda

Información del Proyecto Datos de Entrada Verificación ELU Verificación ELS

Información del Proyecto Condiciones de la subrasante Cargas

Cargas Distribuidas Simple/doble carga puntual Sistema de Estanterías Montacarga Camión

Posición de la Carga: Interior Tipo: C4

P_{act} 153.74 kN

Diagram showing truck layout with axles F, M1, M2, R and dimensions a_1 , a_2 , a_3 , s , and A .

Tipo: C4

Peso Total: 320.00 kN N° Ejes: 4

Carga Rueda Delantera F: 35.00 kN

Carga Rueda M1 M_1 : 41.67 kN

Carga Rueda M2 M_2 : 41.67 kN

Carga Rueda Trasera R: 41.67 kN

Espac. entre los Ejes: s_1 1850 mm, s_2 1500 mm, s_3 1500 mm

Área Contacto Rueda: b_x 200 mm, b_y 200 mm, A 40000 mm²

Coef. de Seguridad γ 1.60 ≥ 1.60

Cargas actuantes y capacidad última de carga	
P_{act}	66.67 kN
P_u	153.74 kN

C 20/25

FF1

20 kg/m²

$b = 150$ mm

$k = 0.048$ N/mm³

Con juntas de control

Código: EC 2 / TR34/3

Proyecto de Tesis _ Walter Reynán Quispe Ccahuán

Sistema SI

Finalmente el programa suma los efectos de las cargas a los ocasionados por el alabeo provocado por el cambio de temperatura y los compara con los admisibles:

Paave 2008 v.1.1.0

Archivo Herramientas Ayuda

Información del Proyecto Datos de Entrada Verificación ELU Verificación ELS

Capacidad a flexión Capacidad al punzonado

Información del Proyecto

Datos de Entrada

Información del Sistema

Condiciones de la subrasante

Cargas

Cargas Distribuidas

Simple/doble carga pun.

Sistema de Estanterías

Montacarga

Camión

Verificación ELU

Verificación ELS

C 20/25

FF1

20 kg/m²

h = 150 mm

k = 0.048 N/mm²

Con juntas de control

Código:
EC 2 / TR34/3

TR34/3

Proyecto de Tesis _ Walter Reyán Quispe Cabañin

Sistema SI

Información del Proyecto

Capacidad a flexión

Capacidad al punzonado

Cargas

Concentrada

Cargas	Posición	P ₀ /P _{est}	Junta	Resultados
Simple/doble carga puntual	Interior	---	---	P _{est} kN
Sistema de Estanterías	Interior	---	---	P _{est} kN
Montacarga	Interior	---	---	P _{est} kN
Camión	Interior	2.31	---	P _{est} 66.67 kN

Cargas Distribuidas

Bloque de Carga	Posición	Junta	Resultados
Bloque de Carga	Interior	---	q _{est} kN/m ²
Línea de Carga	Interior	---	P _{est} kN/m

Combinación

Combinación	Posición	Junta	Resultado
Camión	Interior	---	P ₀₁₁ 66.67 kN

Capacidad última de Carga $P_u - (\Delta P_{SH} + \Delta P_{AT})$ 153.74 kN

Factor de seguridad Global P_u / P_{011} 2.31

$(\Delta P_{SH} + \Delta P_{AT})$ Efecto de la retracción y temperatura en la capacidad última de carga

Archivo Herramientas Ayuda

Información del Proyecto | Datos de Entrada | Verificación ELU | Verificación ELS

Capacidad a flexión | Capacidad al punzonado

Información del Proyecto

Datos de Entrada

Informaciones del Sistema

Condiciones de la subrasante

Cargas

Cargas Distribuidas

Simple/doble carga puntual

Sistema de Estanterías

Montacarga

Camión

Verificación ELU

Verificación ELS

C 20/25

FF1

20 kg/m²

h = 150 mm

k = 0.048 N/mm²

Con juntas de control

Código:
EC 2 / TR34/3

TR34/3

Proyecto de Tesis_Walter Reynán Owspe Ccahuán

Sistema SI

Información del Proyecto

Datos de Entrada

Verificación ELU

Verificación ELS

Capacidad a flexión

Capacidad al punzonado

Cargas

Cargas	Posición	Juntas	Resultados
Simple/doble carga puntual	Interior	---	P_{Rst} kN
Sistema de Estanterías	Interior	---	P_{Rst} kN
Montacarga	Interior	---	P_{Rst} kN
Camión	Interior	---	P_{Rst} 66.67 kN

Combinación

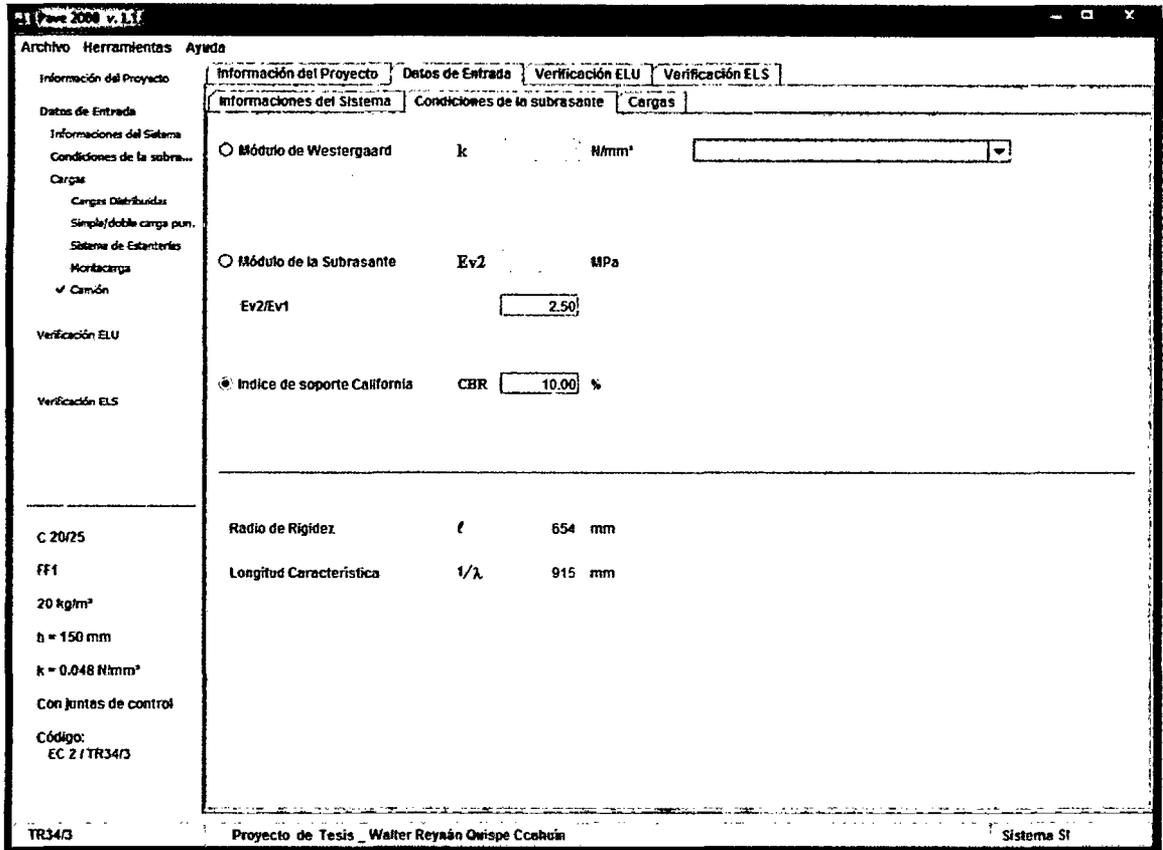
Combinación	Posición	Junta	Resultado
Camión	Interior	---	P_{Dst} 66.67 kN

Verificación en la cara de la carga

Capacidad última al punzonado	P_{uV}	331.20 kN
Factor de seguridad global. Cara de Carga	P_{uV}/P_{D11}	4.97

Verificación en el perímetro crítico

Capacidad última al punzonado	P_{uV}	125.73 kN
Factor de seguridad. Perímetro Crítico	P_{uV}/P_{D11}	1.89



Resultados con el Pave 2008

Combinación: FF1-20-210

Capacidad a la flexión		
Fuerzas sobre la losa de piso	Pu/Pact	Pact
Camión	2.31	66.67 KN

Capacidad última de carga	153.74 KN
FS Global	2.31

Capacidad de punzonamiento			
Fuerzas sobre la losa de piso	Pu/Pact	Posición	Pact
Camión	2.31	Interior	66.67 KN

Verificación en la cara de la carga	
Capacidad última al punzonado	331.2 KN
FS Global a cara de carga	4.97

Verificación en el perímetro crítico	
Capacidad última al punzonado	125.73 KN
FS a perímetro crítico	1.89

Se verifica dentro de los estados límites últimos, la capacidad de punzonamiento; así como también se verifica el factor de seguridad del diseño realizado, que éste sea mayor a 1.

Verificación de los Factores de Seguridad

Del diseño realizado:

Factor de Seguridad Global de capacidad a la flexión = 2.31 → OK

Factor de Seguridad Global en la cara de carga al Punzonamiento = 4.97 → OK

Factor de Seguridad en el perímetro crítico al Punzonamiento = 1.89 → OK

Concluimos que el diseño óptimo para este pavimento es de una losa de 15.00 cm de espesor con una dosificación de 20 kg/m³ de fibras de acero Wirand® FF1.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Prueba de Hipótesis

El proceso que permite realizar el contraste de hipótesis requiere ciertos procedimientos. Se ha podido verificar los planteamientos de diversos autores y cada uno de ellos con sus respectivas características y peculiaridades, motivo por el cual era necesario decidir por uno de ellos para ser aplicado en la investigación; optándose por un diseño factorial completamente aleatorizado.

4.2.2. Planteamiento de Hipótesis:

Este procedimiento realiza el contraste bilateral de la hipótesis nula $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$ frente a la hipótesis alterna $H_1: \tau_1 \neq \tau_2 \neq \dots \neq \tau_a \neq 0$ en el caso de muestras independientes y varianzas poblacionales desconocidas, distinguiendo los casos en que estas sean iguales o distintas.

- Hipótesis Nula (H_0): El empleo de fibras de acero Wirand® FF1 no influye significativamente en el comportamiento del concreto para pavimentos en la construcción de pistas en la Provincia de Huamanga – Ayacucho.
- Hipótesis Alterna (H_1): El empleo de fibras de acero Wirand® FF1 influye significativamente en el comportamiento del concreto para pavimentos en la construcción de pistas en la Provincia de Huamanga – Ayacucho.

4.2.3. Nivel de significancia (α) y nivel de confianza

La variable de respuesta se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (5%), y un intervalo de confianza $(1 - \alpha)=0.95$ (95%) mediante el paquete de software comercial Design-Expert®.

4.2.4. Análisis estadístico de la influencia de adición de fibra de acero en las propiedades mecánicas del concreto

4.2.4.1. Análisis estadístico del efecto de las variables sobre la resistencia a la compresión axial ($f'c$)

Como variable respuesta se evaluó la resistencia a la compresión axial ($f'c$). En la tabla se presenta el diseño factorial completo, en la cual se muestra los valores de los niveles de los factores estudiados y la respuesta obtenida de $f'c$.

El objetivo del análisis es realizar el contraste de la hipótesis nula (H_0):

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$. Es decir, considerando la presencia de las interacciones con el factor B, contrastar si los efectos de los niveles del factor A son nulos. El estadístico de contraste es:

Al nivel α si $F_{exp} > F_{(gl\ modelo), (gl\ error)}$, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1): al menos una $\tau_i \neq 0$.

Los datos de resistencia a la compresión axial ($f'c$) se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (5%), y un intervalo de confianza $(1-\alpha)=0.95$ (95%) mediante el paquete de software comercial Design-Expert®. La tabla muestra los resultados del análisis de varianza realizado para los datos de $f'c$:

Response 1 Resistencia a la compresión (f'c)

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	25289.36	5	5057.87	182.07	< 0.0001	significant
A-Tipo de C°	45.20	1	45.20	1.63	0.2262	
B-Edad	25164.12	2	12582.06	452.91	< 0.0001	
AB	80.04	2	40.02	1.44	0.2749	
Pure Error	333.36	12	27.78			
Cor Total	25622.73	17				
Std. Dev.		5.27		R-Squared	0.9870	
Mean		229.84		Adj R-Squared	0.9816	
C.V. %		2.29		Pred R-Squared	0.9707	
PRESS		750.07		Adeq Precision	30.745	

Reemplazando valores para $F_{(gl\ modelo),(gl\ error)}$ e interpolando en la tabla puntos porcentuales de la distribución F (ver tabla en Anexo D), se tiene $F_{5,12}=3.11$. Mientras $F_{exp}=182.07$, lo cual siendo $F_{exp} > F_{(gl\ modelo),(gl\ error)}$, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1). Se concluye que hay una interacción significativa entre los tipos de concreto (A) y la edad (B) en las respuestas de resistencia a la compresión (f'c).

La evaluación del coeficiente de regresión (R^2) para las respuestas de f'c es 98.70% que significa una perfecta correlación positiva; mientras el coeficiente de variabilidad (CV) es de 2.29%, la cual indica el porcentaje de error del experimento, por lo tanto el trabajo es bueno según lo manifestado en condiciones de laboratorio y parte teórica.

4.2.4.2. Análisis estadístico del efecto de las variables sobre la resistencia a la flexión (Mr)

El objetivo del análisis es realizar el contraste de la hipótesis nula (H_0):

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$. Es decir, considerando la presencia de las interacciones con el factor B, contrastar si los efectos de los niveles del factor A son nulos. El estadístico de contraste es:

Al nivel α si $F_{exp} > F_{(gl\ modelo), (gl\ error)}$, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1): al menos una $\tau_i \neq 0$.

Los datos de resistencia a la flexión o módulo de rotura (Mr) se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (5%), y un intervalo de confianza $(1-\alpha)=0.95$ (95%) mediante el paquete de software comercial Design-Expert®. La tabla muestra los resultados del análisis de varianza realizado para los datos de Mr:

Response 1		Resistencia a la flexión (Mr)				
ANOVA for selected factorial model						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	401.03	5	80.21	34.87	< 0.0001	significant
A-Tipo de C°	233.19	1	233.19	101.37	< 0.0001	
B-Edad	164.34	2	82.17	35.72	< 0.0001	
AB	3.50	2	1.75	0.76	0.4884	
Pure Error	27.60	12	2.30			
Cor Total	428.63	17				
	Std. Dev.	1.52		R-Squared	0.9356	
	Mean	36.53		Adj R-Squared	0.9088	
	C.V. %	4.15		Pred R-Squared	0.8551	
	PRESS	62.11		Adeq Precision	17.319	

Reemplazando valores para $F_{(gl \text{ modelo}), (gl \text{ error})}$ e interpolando en la tabla puntos porcentuales de la distribución F (ver tabla en Anexo D), se tiene $F_{5,12}=3.11$. Mientras $F_{exp}=34.87$, lo cual siendo $F_{exp} > F_{(gl \text{ modelo}), (gl \text{ error})}$, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1). Se concluye que hay una interacción significativa entre los tipos de concreto (A) y la edad (B) en las respuestas de resistencia a la flexión o módulo de rotura (M_r).

La evaluación del coeficiente de regresión (R^2) para las respuestas de M_r es 93.56% que significa una perfecta correlación positiva; mientras el coeficiente de variabilidad (CV) es de 4.15%, la cual indica el porcentaje de error del experimento, por lo tanto el trabajo es bueno según lo manifestado en condiciones de laboratorio y parte teórica.

CONCLUSIONES

- La granulometría del agregado fino (Arena Gruesa) y del agregado grueso (Piedra Chancada) de la cantera Chacco, si cumple con las especificaciones de la NTP.
- La incorporación de fibras de acero, repercute sobre la propiedad del concreto en estado fresco, destacando la reducción de la trabajabilidad, el asentamiento de la mezcla disminuye de 3 1/4" a 3"; igual se encuentran dentro de las tolerancias que se muestra en la norma ASTM.
- En cuanto a las propiedad mecánica de resistencia a la compresión axial (f_c), la adición de fibra de acero no tiene mayor influencia en el aumento de la f_c , pues el incremento es muy pequeño. El aporte de las fibras a la resistencia a la compresión del concreto es que evita que este tenga una falla frágil, dándole ductilidad al compuesto.
- Observando la interacción de los factores A y B, los mejores resultados de f_c se obtuvo cuando el tipo de concreto es concreto reforzado con fibras de acero (SFRC) y la edad es de 28 días, resultando ser un promedio de 272 kg/cm²; contrariamente se obtienen menores valores cuando los factores toman los otros niveles.
- En cuanto a la resistencia a la flexión o módulo de rotura (M_r), se aprecia claramente el aumento de este valor con la fibra de acero presente en la mezcla de concreto. Se concluye entonces que la adición de fibra de acero es un factor relevante en el aumento de la resistencia a la flexión del concreto.
- Observando la interacción de los factores A y B, los mejores resultados de M_r se obtuvo cuando el tipo de concreto es concreto reforzado con fibras de acero (SFRC) y la edad es de 45 días, resultando ser un promedio de 44 kg/cm²; contrariamente se obtienen menores valores cuando los factores toman los otros niveles.

- Los datos de f_c se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (5%), y un intervalo de confianza $(1-\alpha)=0.95$ (95%) mediante el paquete de software comercial Design-Expert®, se tiene $F_{5,12}=3.11$. Mientras $F_{exp}=182.07$, lo cual siendo $F_{exp} > F_{(gl\ modelo),(gl\ error)}$, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1). Se concluye que influye significativamente el tipo de concreto y la edad en las respuestas de f_c .
- Los datos de M_r se evaluó estadísticamente mediante la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para un nivel de significancia de $\alpha =0.05$ (5%), y un intervalo de confianza $(1-\alpha)=0.95$ (95%) mediante el paquete de software comercial Design-Expert®, se tiene se tiene $F_{5,12}=3.11$. Mientras $F_{exp}=34.87$, lo cual siendo $F_{exp} > F_{(gl\ modelo),(gl\ error)}$, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_1). Se concluye que influye significativamente el tipo de concreto y la edad en las respuestas de M_r .
- Los factores de seguridad obtenidos del software oficial de Officine Maccaferri S.p.A. "Pave 2008" son mayores a uno, por lo que el espesor de la losa asumido cumple con un diseño apropiado, pues para valores menores de 150 mm considerados, esto no se cumplía. Concluimos que el diseño óptimo para este pavimento es de una losa de 15.00 cm de espesor con una dosificación de 20 kg/m^3 de fibras de acero Wirand® FF1.
- Analizando los resultados obtenidos del diseño de pavimento, se obtuvo que el espesor de la losa con fibras de acero Wirand® FF1 disminuyó 5 cm, respecto al espesor de losa de la obra en comparación.
- Las fibras de acero le brindan un refuerzo a la losa de concreto en todas las direcciones, lo que garantiza un control eficaz de la fisuración e incremento de la capacidad de carga gracias a una mejor distribución de las tensiones.
- Como consecuencia del análisis de los resultados de la presente investigación, se puede señalar que las aplicaciones en las cuales el concreto reforzado con fibra de acero puede brindar excelentes resultados, son las siguientes: losas, pavimentos industriales, pavimentos para contenedores, concreto proyectado, revestimientos de túneles y prefabricados.

RECOMENDACIONES

- Complementar nuestro estudio con información de otras experiencias de concreto reforzado con fibras de acero Wirand® FF1 en lo referente a pruebas en obra y ventajas económicas.
- Officine Maccaferri S.p.A. recomienda una dosificación con por lo menos 20 kg de fibra por m³ de concreto, no se puede menos.
- Para el proceso de mezclado, se recomienda no añadir nunca las fibras como primer componente en la mezcladora, sino introducirlas junto con los agregados o se puede añadir al final de todos los componentes.
- En obra el proceso de mezcla de concreto debe ser constante para evitar la formación de erizos de fibras, hacer el control de la mezcladora y constatar que sea un vaciado con una mezcla homogéneo.
- En el proceso de vaciado se debe tener control de la cantidad de fibras de acero que será introducida en la mezcla ya que se debe respetar la dosificación establecida para una mejor trabajabilidad del concreto y llegar a las consideraciones solicitadas.
- Otros factores que afectan a la resistencia a flexión del concreto reforzado con fibras son la orientación de las fibras y la adherencia de las fibras a la matriz (mucho agregado grueso disminuye la adherencia).
- Se recomienda proteger las fibras contra la lluvia y el medio ambiente, ya que puede causar oxidación en las fibras e influir en sus propiedades.
- Se recomienda agregar aditivos plastificantes para mejorar la trabajabilidad del concreto.

- La utilización apropiada del concreto reforzado con fibras de acero depende en gran parte de la habilidad del ingeniero para aprovechar las características mejoradas del concreto bajo una carga dada para una aplicación determinada y la eficiencia del menor costo de la adición de fibras.
- Las recomendaciones que se pueden llegar a concluir es que con el uso de fibras de acero como parte integrante del concreto, es capaz de producir cambios favorables en su comportamiento. De los ensayos realizados se advierte que los mayores beneficios se obtienen en el aumento de la resistencia a la flexión del concreto.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ABANTO CASTILLO, FLAVIO (1998). Tecnología del concreto. Editorial San Marcos. Lima, Perú.

ACI - PERU (1995). Supervisión de obras de concreto. Editorial H&M S.R. Ltda. Lima, Perú.

AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION (1995). Pavimentos de Concreto: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

BLANCO ALVAREZ, ANA (2009). Durabilidad del Hormigón con Fibras de Acero. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.

CÉSPEDES ABANTO, JOSÉ (2007). Los Pavimentos en las Vías Terrestres. Universidad Nacional de Cajamarca, Primera Edición. Cajamarca, Perú.

CORONADO ITURBIDE, JORGE (2002). Manual centroamericano para diseño de pavimentos. Usaid Sieca, Guatemala.

INDECOPI (2001). Norma Técnica Peruana. Editorial Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales. Lima.

MACCAFERRI América Latina. Fibras como elemento estructural para el Refuerzo del Hormigón. Manual técnico. Maccaferri de Perú, e-mail: macpe@maccaferri.com.pe.

MENDEZ ACURIO, JOSÉ R. (2009). Ingeniería de Pavimentos - Materiales, diseño y conservación. Fondo editorial ICG. Lima, Perú.

MONTEJO, ALFONSO (2010). Ingeniería de Pavimentos: Universidad Católica de Colombia.

ORDOÑEZ HUAMÁN, ABEL & MINAYA GONZÁLEZ, SILENE (2006). Diseño moderno de Pavimentos. Universidad Nacional de Ingeniería. Fondo editorial ICG. Lima, Perú.

PASQUEL CARVAJAL, ENRIQUE (1998). Tópicos de tecnología del concreto. Colegio de Ingenieros del Perú - Segunda Edición. Lima, Perú.

RIVVA LÓPEZ, ENRIQUE (2000). Diseño de mezclas. Editorial ACI. Lima, Perú.

RIVVA LÓPEZ, ENRIQUE (2000). Naturaleza y materiales del concreto. Editorial ACI. Lima, Perú.

PAVE 2008 – Manual de uso del programa para la verificación del cálculo de pisos y pavimentos en hormigón fibroreforzado. Maccaferri América Latina.

SIKA Informaciones Técnicas (2011). Concreto reforzado con fibras.

ANEXOS

Apéndice A

Datos técnicos de Fibras

Wirand® FF1



MACCAFERRI
A M É R I C A L A T I N A

Actualización: Agosto 2004

Maccaferri de Perú se reserva el derecho de corregir especificaciones de los productos sin notificar, por lo que los diseñadores deberán revisar y validar las especificaciones que están usando.

DATOS TÉCNICOS

Fibras Wirand FF1

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

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

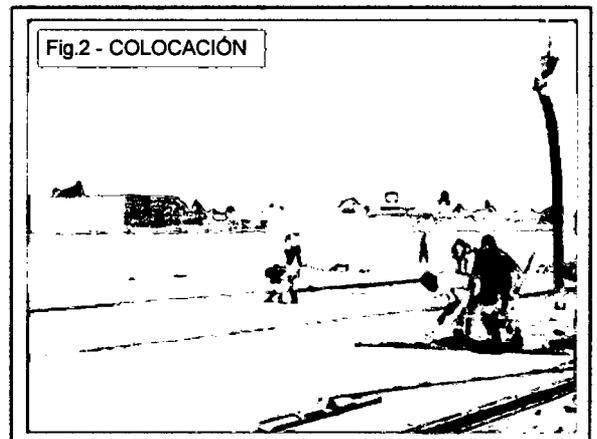
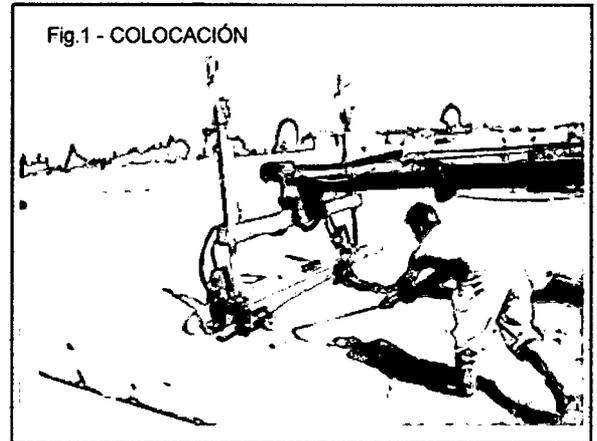
Algunos beneficios que obtenemos con la adición de fibras al concreto son:

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

Las fibras metálicas mejoran considerablemente el comportamiento dúctil (flexural toughness) del concreto, es decir, la capacidad de redistribuir esfuerzos en la masa. Esta absorción de energía prácticamente ofrece una mayor capacidad de carga al concreto, por lo que en muchos casos el incorporar fibras metálicas permite disminuir el espesor de los pisos de concreto.

Gracias a la redistribución de esfuerzos en la masa de concreto que se logra con la incorporación de fibras metálicas, se observa un incremento significativo a la resistencia a la fatiga. El concreto reforzado con fibras metálicas asegura resistencia a un mayor número de repeticiones de carga, de 1.2 a 2 veces más de las que el concreto simple soporta.

Las fibras metálicas brindan resistencia al corte, que es primordial en la construcción de pisos, tanto de uso industrial como comercial.

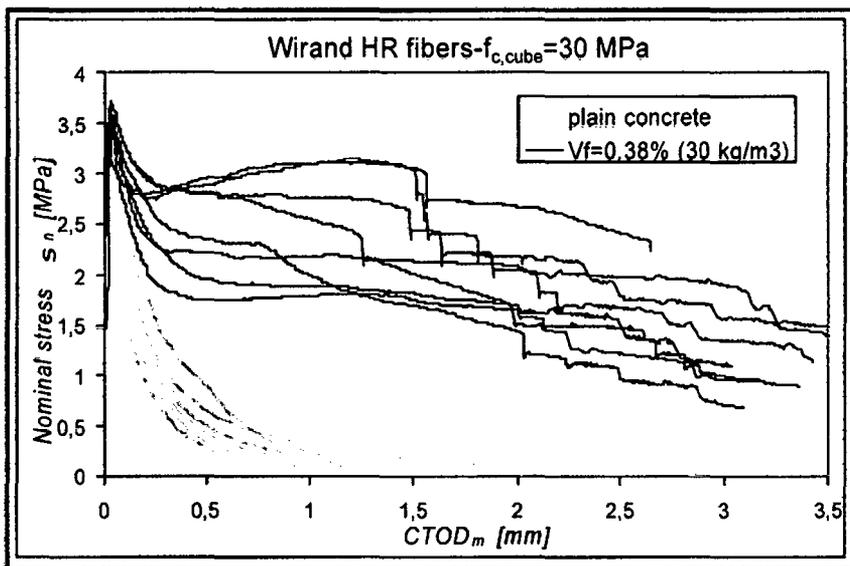
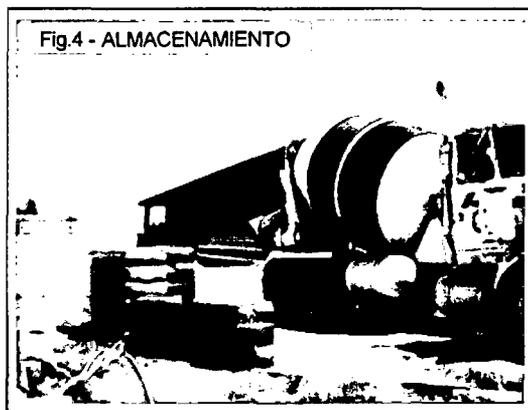


FIBRAS SINTÉTICAS VS FIBRAS DE ACERO.

Las fibras sintéticas únicamente ofrecen control de agrietamiento durante el asentamiento plástico del concreto, por lo que su uso se limita a pisos de concreto en las que no habrá cargas considerables. Las fibras metálicas brindan control de agrietamiento durante el asentamiento plástico del concreto y después de que el concreto se ha endurecido, por lo que su uso se extiende a pisos de concreto que estarán sometidos a cargas considerables, como los comerciales e industriales.

Cuando se somete una viga de concreto a grandes esfuerzos, su deflexión aumenta en proporción con la carga, hasta el punto en que ocurre una ruptura. Los elementos reforzados con fibras de acero mantendrán la capacidad de seguir soportando cargas después de producida la primera fisura, confiriendo al elemento una mayor ductilidad.

Al reforzar un concreto con fibras de acero, éstas actúan como pequeñas barras de refuerzo, atravesando las grietas y soportando una carga entera aún más grande que la que se necesita para romper una viga.



Descripción: Fibra WIRAND® FF1 en alambre de acero trellado para el refuerzo del concreto

Relación de esbeltez L/D: Relación entre el Largo y el Diámetro 50/100 > 50
Tolerancia sobre cada valor singularmente $\pm 15\%$
Tolerancia sobre el valor promedio $\pm 7.5\%$

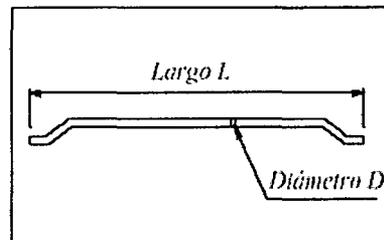
Diámetro D: 1.00 mm;
Tolerancia sobre cada valor singularmente $\pm 10\%$
Tolerancia sobre el valor promedio $\pm 5\%$

Largo L: 50 mm;
Tolerancia sobre cada valor singularmente $\pm 10\%$
Tolerancia sobre el valor promedio $\pm 5\%$

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

R_m (Tensión de ruptura por tracción del alambre): > 1100 MPa
 DI (Elongación a la ruptura) < 4%
 E (Modulo de elasticidad) 210,000 MPa

UNI 11039: Ensayo de flexión sobre viga para la determinación de la resistencia de primera fisuración y del índice de ductilidad



MACCAFERRI
AMÉRICA LATINA

MACCAFERRI DE PERÚ S.A.C.

Oficina Técnica y Planta
Predio Las Salinas Lote C 12 - 2
Altura Km 33 Panamericana Sur
Pucusana - Lima 16 - Perú
Tel: (51-1) 4300292
Fax: (51-1) 4300289
Email: macpe@maccaferri.com.pe

Apéndice B

Resultados de ensayos de laboratorio



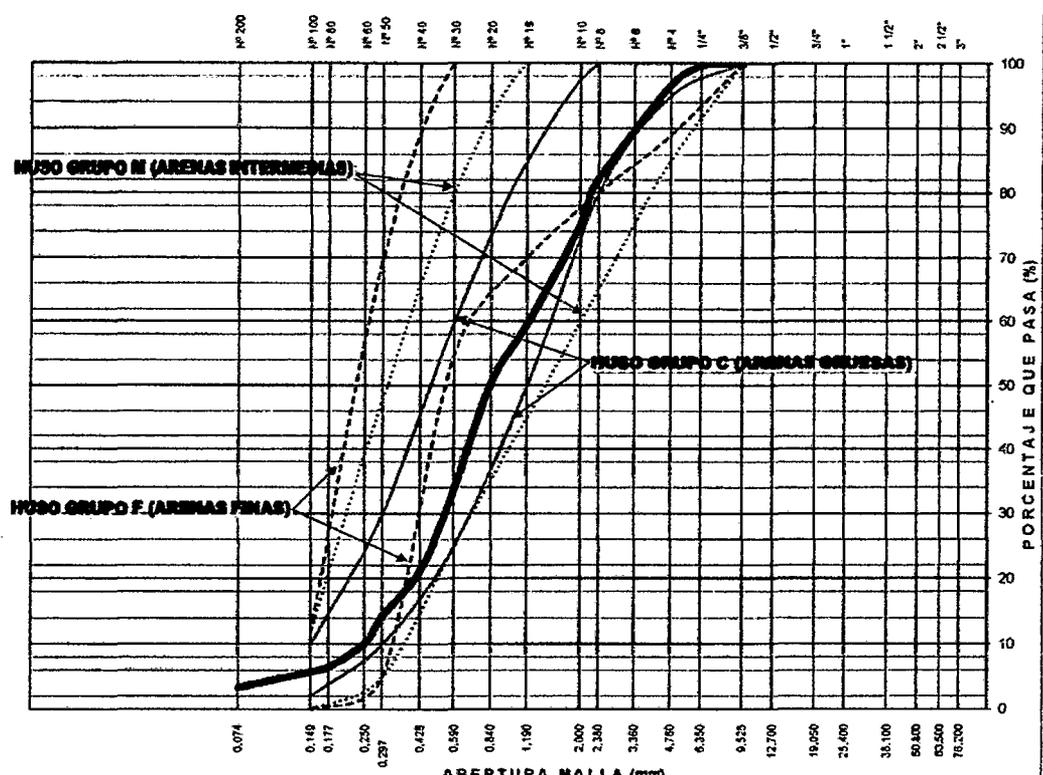
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO
(MTC E 204-2000)

Proyecto : Tesis "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"
 Solicitante : WALTER REYNAN QUSPE CCAHUÍN Region : AYACUCHO
 Cartera : CHACCO Provincia : HUAMANGA
 Material : ARENA Distrito : AYACUCHO
 Fecha : 18/11/13 Lugar : AA.HH. 11 DE JUNIO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACCUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. LEJAL TOTAL	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200						PESOS (gr) Peso seco inicial 1653.36 Peso seco lavado 1598.26 Pérdida por lavado 55.1 ENSAYOS ESTÁNDAR % Grava 3.3 % Arena 96.7 % de Finos 3.3 D ₁₀ = D ₆₀ = 0.2487 D ₃₀ (mm) = 0.5410 D ₆₀ (mm) = 1.1663 C _u = 4.7 C _c = 1.0 D ₁₅ (mm) = 0.3482 D ₃₀ (mm) = 0.6949 D ₆₀ (mm) = 2.9478 Clasificación SUCS SP ARENA MAL GRADUADA Gravedad específica 2.38 Módulo de Fineza 3.08 Superficie específica (cm ² /gr) 53.5
2 1/2"	63.500				100.00		
2"	50.800				100.00		
1 1/2"	38.100				100.00		
1"	25.400				100.00		
3/4"	19.050				100.00		
1/2"	12.700				100.00		
3/8"	9.525	1.36	0.08	0.08	99.92	100	
1/4"	6.350	4.51	0.27	0.36	99.64	89 - 100	
Nº 4	4.760	19.51	2.99	3.35	96.65	65 - 100	
Nº 6	3.360			3.35	96.65	45 - 100	
Nº 8	2.380	239.74	14.50	17.85	82.15	25 - 100	
Nº 10	2.000	114.66	6.93	24.78	75.22	5 - 70	
Nº 16	1.190	252.74	15.65	40.43	59.57		
Nº 20	0.840	149.73	9.06	49.49	50.51		
Nº 30	0.590	277.62	16.79	66.28	33.72		
Nº 40	0.426	205.74	12.44	78.73	21.27		
Nº 50	0.297	115.71	7.00	85.72	14.28		
Nº 60	0.250	68.80	4.16	89.88	10.12		
Nº 80	0.177	60.02	3.63	93.52	6.48		
Nº 100	0.149	12.53	0.76	94.27	5.73		
Nº 200	0.074	59.59	2.39	96.67	3.33		
Fondo				96.67	3.33		
Lavado		55.1	3.33	100.00	0.00		
TOTAL		1,653.36	100.00				

CURVA GRANULOMÉTRICA



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		BOLEOS/ BLOQUE
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

UNSOH - FINCO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales
[Signature]
JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
INGENIERO CIVIL
 Reg. Categ. de Ingenieros No. 33072

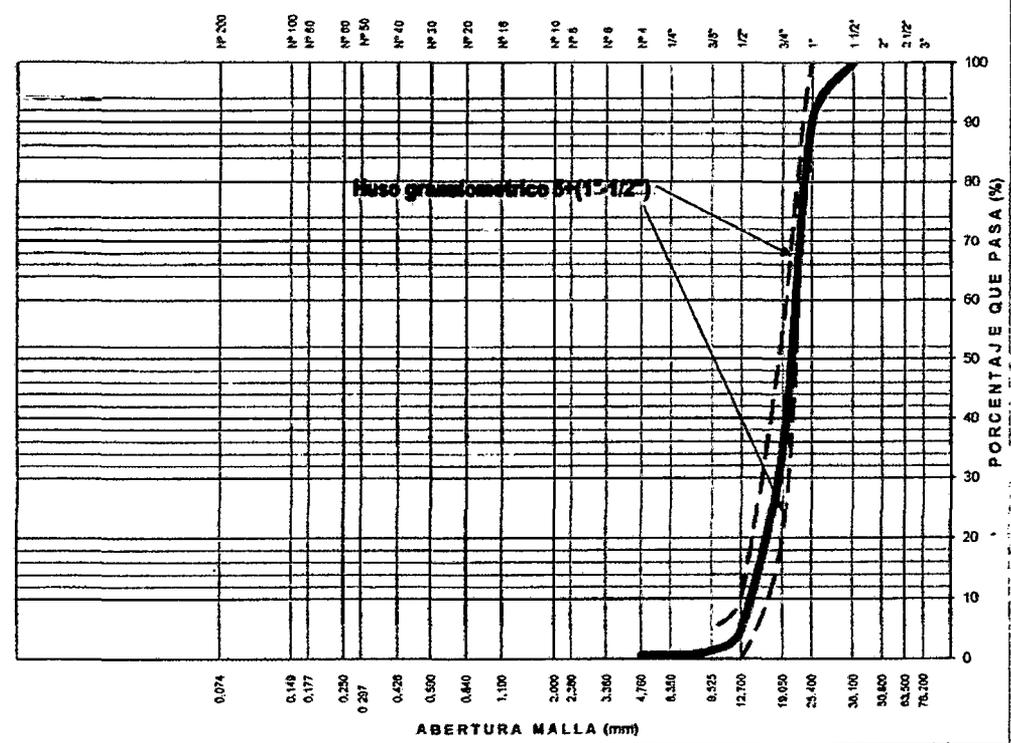


**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
 (MTC E 204 - 2000)**

Proyecto : Tesis INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO
 Solicitante : WALTER REYNAN QUISPE CCAHUÍN Region : AYACUCHO
 Cantera : CHACCO Provincia : HUAMANGA
 Material : PIEDRA CHANCADA Distrito : AYACUCHO
 Fecha : 20/11/13 Lugar : AAHH, 11 DE JUNIO

TAMUZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 5+ TAMUZ 2"-2 1/2"	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200						PESOS (gr) Peso sacco inicial 2235.3 Peso sacco lavado 2224.42 Pérdida por lavado 10.9
2 1/2"	63.500				100.00		
2"	50.800				100.00		ENSAYOS ESTÁNDAR % Grava 99.4 % Arena 0.1 % de Finos 0.5 D ₁₀ = D _{47.5mm} = 17.6560 D ₃₀ (mm) = 18.0250 D ₄₀ (mm) = 24.3558 C _u = 14 C _c = 0.8 D _{150mm} = 22.3905 D _{200mm} = 22.2455 D _{250mm} = 24.7723 Clasificación SUCS GP GRAVA MAL GRADUADA Tamaño Máximo Nominal 1" Gravedad específica 2.47 Módulo de Fineza 7.60 Superficie específica (cm ² /gr) 353
1 1/2"	38.100				100.00	100 - 100	
1"	25.400	212.34	9.50	9.50	90.50	90 - 100	
3/4"	19.050	1243.81	55.64	65.14	34.86	20 - 55	
1/2"	12.700	672.63	30.09	95.23	4.77	0 - 10	
3/8"	9.525	74.95	3.35	98.59	1.41	0 - 5	
1/4"	6.350	16.91	0.76	99.34	0.66		
Nº 4	4.760	0.59	0.03	99.37	0.63		
Nº 6	3.360			99.37	0.63		
Nº 8	2.380	0.31	0.01	99.38	0.62		
Nº 10	2.000	0.06	0.00	99.39	0.61		
Nº 16	1.190	0.18	0.01	99.39	0.61		
Nº 20	0.840	0.07	0.00	99.40	0.60		
Nº 30	0.590	0.19	0.01	99.40	0.60		
Nº 40	0.426	0.15	0.01	99.41	0.59		
Nº 50	0.297	0.19	0.01	99.42	0.58		
Nº 60	0.250	0.22	0.01	99.43	0.57		
Nº 80	0.177	0.43	0.02	99.45	0.55		
Nº 100	0.149	0.19	0.01	99.46	0.54		
Fondo Lavado				99.51	0.49		
TOTAL		10.9	0.49	100.00	0.00		

CURVA GRANULOMÉTRICA



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		BOLEOS/ BLOQUE
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

UNSCHE - FIMGO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales
 JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Coleg. de Ingenieros No. 38978
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (MTC E 203 - 2000)

Proyecto : Tesis "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"
Solicitante : WALTER REYNAN QUISPE CCAHUÍN Region : AYACUCHO
Cantera : CHACCO Provincia : HUAMANGA
Material : PIEDRA Y ARENA Distrito : AYACUCHO
Fecha : 25/11/13 Lugar : AA.HH. 11 DE JUNIO

AGREGADO FINO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	7,237.0	7,298.0	7,320.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,471.0	4,532.0	4,554.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,579	1,600	1,608
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,596		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	2,766.0	2,766.0	2,766.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	7,594.0	7,640.0	7,626.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	4,828.0	4,874.0	4,820.0
D Volumen del Molde (cm ³)	2,831.7	2,831.7	2,831.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,705	1,721	1,737
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,721		
AGREGADO GRUESO			
PESO UNITARIO SUELTO SECO (PUSS)			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	7,339.0	7,339.0	7,339.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	20,230.0	20,124.0	20,220.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	12,891.0	12,785.0	12,881.0
D Volumen del Molde (cm ³)	9,450.7	9,450.7	9,450.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,364	1,353	1,363
PROMEDIO PUSS (Kg/m³)	1,360		
PESO UNITARIO COMPACTADO SECO (PUCS) METODO DEL APISONADO			
Nº DE ENSAYO	Ensayo Nº 01	Ensayo Nº 02	Ensayo Nº 03
A Peso Molde (gr)	7,339.0	7,339.0	7,339.0
B Peso Agregado + Molde (gr)	21,530.0	21,520.0	21,532.0
C Peso Agregado Suelto (gr) = (B)-(A)	14,191.0	14,241.0	14,199.0
D Volumen del Molde (cm ³)	9,450.7	9,450.7	9,450.7
E Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) = (C)/(D)	1,502	1,507	1,502
PROMEDIO PUCS (Kg/m³)	1,504		

UNSOH - FIMGO
Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
INGENIERO CIVIL
Reg. Categ. de Ingenieros No. 33072



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : Tesis "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : WALTER REYNAN QUISPE CCAHUÍN Region : AYACUCHO

Cartera : CHACCO Provincia : HUAMANGA

Material : PIEDRA Y ARENA Distrito : AYACUCHO

Fecha : 26/11/13 Lugar : AA.HH. 11 DE JUNIO

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01 AG	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	711.20	506.40		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	726.00	519.50		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	442.00	312.30		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.50	2.44		2.47
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.56	2.51		2.53
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.64	2.61		2.63
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	2.08	2.59		2.33

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	122.98	60.06		
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	679.60	350.29		
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	755.80	387.58		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	127.94	62.40		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)	2.38	2.39		2.38
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.47	2.49		2.48
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)	2.63	2.64		2.63
	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	4.03	3.90		3.96

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	63.38
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	36.62
Gravedad especifica de los sólidos	2.44

UNSOH - PIMGO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

[Firma]

JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDEAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Coleg. de Ingenieros No. 38678



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTÉCNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

Proyecto : Tesis "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : WALTER REYNAN QUISPE CCAHUÍN Region : AYACUCHO

Cantera : CHACCO Provincia : HUAMANGA

Material : PIEDRA Y ARENA Distrito : AYACUCHO

Lugar : AA.HH. 11 DE JUNIO

PORCENTAJE DE VACIOS			
IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,360	1,596
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,504	1,721
C	Gravedad Específica de Masa	2.47	2.88
D	Peso de los Solidos (gr)	2,474	2,384
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		45.0	33.1
Porcentaje de Vacios (%) Agregado variado		39.2	27.8

CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL

IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	482.34	521.34
B	Peso Seco de la muestra (gr)	478.12	515.89
C	Peso del agua en la muestra (gr)	4.22	5.45
D	% de absorcion		2.93
Contenido de Humedad (%)		0.88	1.06
Contenido de Humedad (%)			0.97
Absorcion Efectiva (%)			1.36
Humedad Superficial (%)			-
IDENTIFICACIÓN		Agregado Fino	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	106.49	105.18
B	Peso Seco de la muestra (gr)	101.24	99.99
C	Peso del agua en la muestra (gr)	5.25	5.18
D	% de absorcion		3.96
Contenido de Humedad (%)		5.19	5.19
Contenido de Humedad (%)			5.19
Absorcion Efectiva (%)			-
Humedad Superficial (%)			1.22

Nota: El agregado fue muestreado en campo, cuya humedad en ese momento fue la que se determina

UNSOH - FIMGO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

J. Estrada

JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Categ. de Ingenieros No. 33072



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTÉCNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

DISEÑO DE MEZCLAS USANDO EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI			
Proyecto		: Tesis "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"	
Solicitante	: WALTER REYNAN QUISPE CCAHUÍN	Region	: AYACUCHO
Cantera	: CHACCO	Provincia	: HUAMANGA
Materia	: PIEDRA CHANCADA Y ARENA	Distrito	: AYACUCHO
Fecha	: 26/11/13	Lugar	: A.A.H.H. 11 DE JUNIO
Cantera de donde se extraen los materiales : CHACCO			
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO			
Resistencia a la compresión especificada del Concreto (f_c) =		210	kg / cm ²
Desviación estándar de antiguos ensayos realizados en esta Cantera (σ) =		51	kg / cm ²
Resistencia promedio a la compresión del Concreto (f_{cr}) =		294	kg / cm ²
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES			
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Peso específico de masa :	2.38	Tamaño máximo nominal (Pulg.) :	1 1/2"
Absorción (%) :	3.96	Peso seco compactado (kg / m³) :	1504.00
Contenido de Humedad (%) :	5.19	Peso específico de masa :	2.47
Módulo de finura :	3.08	Absorción (%) :	2.33
		Contenido de Humedad (%) :	0.97
CEMENTO		AGUA	
Tipo de Cemento Portland a usar :	ASTM Tipo 1 "Andino"	FUENTE: Red de agua potable	
Peso Especifico :	3.15	P.E. kg/m³	1000
DISEÑO DE MEZCLA			
Selección del Asentamiento :		Tipo de consistencia : Plástica	
		Asentamiento : 3" a 4"	
Tipo de Concreto a diseñar :		Concreto sin aire incorporado	
Volumen unitario de Agua :		193.00	lt / m ³
Contenido de aire total :		1.50	%
Relación Agua / Cemento :		0.56	
Factor cemento :		Factor Cemento =	345.00 kg / m ³
		Factor Cemento =	8.1 Bolsas / m ³
Contenido de Agregado Grueso	Agregado Grueso Seco Compactado por Unidad de Volumen del Concreto :		0.65 m ³
	Peso del Agregado Grueso :		977.60 Kg / m ³
Cálculo de los Volúmenes Absolutos de los materiales		Cemento :	0.110 m ³
		Agua :	0.193 m ³
		Aire :	0.015 m ³
		Agregado Grueso :	0.396 m ³
		Suma de Volúmenes :	0.713 m ³
Contenido de Agregado Fino		Volumen Absoluto de Agregado Fino :	0.287 m ³
		Peso del Agregado Fino seco :	682 Kg / m ³
Cantidad de materiales a ser empleados como valores de diseño por m³.		Cemento :	345.00 Kg / m ³
		Agua de diseño :	193.00 lt / m ³
		Agregado Fino seco :	682.00 Kg / m ³
		Agregado Grueso seco :	978.00 Kg / m ³
Cantidad de materiales en peso seco que se necesitan en una tanda de m³ sacos de Cemento.		Cemento :	42.50 Kg / saco
		Agua de diseño :	23.78 lt / saco
		Agregado Fino seco :	84.01 Kg / saco
		Agregado Grueso seco :	120.48 Kg / saco
Proporción en peso de los materiales sin ser corregidos por Humedad del Agregado		Cemento :	1.0
		Agregado fino seco :	2.0
		Agregado grueso seco :	2.8
		Agua de Diseño :	23.8 lt / saco

UNSOH - FIMGO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

J. Estrada
 JFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Coleg. de Ingenieros No. 39072



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTÉCNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

Proyecto	: Tesis "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"		
Solicitante	: WALTER REYNAN QUISPE CCAHUÍN	Región	: AYACUCHO
Cantera	: CHACCO	Provincia	: HUAMANGA
Material	: PIEDRA CHANCADA Y ARENA	Distrito	: AYACUCHO
Fecha	: 26/1/13	Lugar	: AA.HH, 11 DE JUNIO

CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS DE LOS VALORES DE DISEÑO			
Cantera de donde se extraen los materiales : CHACCO			
Contenido de Humedad de los Agregados :	Agregado Fino	5.19	%
	Agregado Grueso	0.97	%
Peso Húmedo de los Agregados :	Agregado Fino	717.00	Kg / m ³
	Agregado Grueso	987.00	Kg / m ³
Humedad Superficial de los Agregados :	Agregado Fino	1.23	%
	Agregado Grueso	-1.36	%
Aporte de Humedad de los Agregados :	Agregado Fino	8.00	lt / m ³
	Agregado Grueso	-13.00	lt / m ³
	Aporte Total	-5.00	lt / m ³
Agua Efectiva :	Agua Efectiva	198.00	lt / m ³
Relación Agua / Cemento de Diseño :		0.56	
Peso de los materiales corregidos por humedad a ser empleados en las mezclas de prueba por m ³ .	Cemento	345.00	Kg / m ³
	Agua Efectiva	198.00	lt / m ³
	Agregado Fino Húmedo	717.00	Kg / m ³
	Agregado Grueso Húmedo	987.00	Kg / m ³
Relación Agua / Cemento Efectiva :		0.57	
Cantidad de materiales corregidos por humedad que se necesitan en una tanda de un saco de Cemento.	Cemento	42.5	Kg / saco
	Agua Efectiva	24.4	lt / saco
	Agregado fino húmedo	88.3	Kg / saco
	Agregado grueso húmedo	121.6	Kg / saco
Proporción en peso de los materiales corregidos por Humedad del Agregado	Cemento	1.0	
	Agregado fino húmedo	2.1	
	Agregado grueso húmedo	2.9	
	Agua Efectiva	24.4	lt / saco

CONVERSION DE DOSIFICACION DE PESO A VOLUMEN				
Peso Unitario Suelto Seco PUSS Kg/m ³ :	Agregado Grueso :	1360.0	Agregado Fino :	1506.0
Peso por pie cubico	Cemento	42.5	Kg / pie ³	
	Del Agregado fino	48.0	Kg / pie ³	
	Del Agregado grueso	39.2	Kg / pie ³	
Proporción en Volumen de los materiales corregidos por Humedad del Agregado.	Cemento	1		
	Agregado fino húmedo	1.8		
	Agregado grueso húmedo	3.1		
	Agua Efectiva	24.4	lt / saco	

Para el concreto reforzado con fibras de acero Wirand® FF1, la guía de aplicación del hormigón reforzado con fibras Maccafertí según el tipo de fibra y espesor, recomienda:

$$\begin{aligned} \text{Wirand® FF1} &= 20.00 \text{ kg/m}^3 \\ &\rightarrow 3.85 \text{ kg/saco} \end{aligned}$$

UNSOB - FIMGO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
INGENIERO CIVIL
 Reg. Coleg. de Ingenieros No. 33072



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE ASENTAMIENTO DE CONCRETO PATRÓN

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Asentamiento	3 ½"	3"	3 ¼"

Promedio: 3 ¼"

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE ASENTAMIENTO DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (20 kg/m³)

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Asentamiento	3"	3 ¼"	3"

Promedio: 3"

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE CONTENIDO DE AIRE DE CONCRETO PATRÓN

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Aire	1.80%	1.70%	1.60%

Promedio: 1.7%

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE CONTENIDO DE AIRE DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (20 kg/m³)

Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Aire	1.80%	1.70%	1.70%

Promedio: 1.75%

UNSOH - FIMGO
Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
INGENIERO CIVIL
Reg. Categ. de Ingenieros No. 88972



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL DE CONCRETO PATRÓN

Fecha de moldeo : 02/12/2013
 Fecha de rotura : 09/12/2013
 Tiempo de curado : 7 días

Nº Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'c (Kg/Cm²)	% de Diseño
CPC - 7D	15	320.3	32659.5	184.8	88.01
CPC - 7D	15	311.8	31799.6	179.9	85.69
CPC - 7D	15	294.5	30031.5	169.9	80.93

f'_c Promedio: 178.2
 Desv. Estándar: 7.6

Fecha de moldeo : 02/12/2013
 Fecha de rotura : 16/12/2013
 Tiempo de curado : 14 días

Nº Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'c (Kg/Cm²)	% de Diseño
CPC - 14D	15	426.3	43465.8	246.0	117.13
CPC - 14D	15	423.9	43226.7	244.6	116.48
CPC - 14D	15	417.3	42550.3	240.8	114.66

f'_c Promedio: 243.8
 Desv. Estándar: 2.7

Fecha de moldeo : 02/12/2013
 Fecha de rotura : 30/12/2013
 Tiempo de curado : 28 días

Nº Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'c (Kg/Cm²)	% de Diseño
CPC - 28D	15	449.2	45806.5	259.2	123.43
---	15	455.3	46430.5	262.7	125.12
CPC - 28D	15	461.4	47054.6	266.3	126.80

f'_c Promedio: 262.7
 Desv. Estándar: 3.5

UNSOH - FIMGO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

[Signature]
 JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARRERAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Categ. de Ingenieros No. 38072



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (20 kg/m³)

Fecha de moldeo : 06/12/2013
 Fecha de rotura : 13/12/2013
 Tiempo de curado : 7 días

Nº Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CRC - 7D	15	314.0	32023.8	181.2	86.29
CRC - 7D	15	318.5	32477.9	183.8	87.52
CRC - 7D	15	299.7	30564.8	173.0	82.36

f'c Promedio: 179.3
 Desv. Estándar: 5.7

Fecha de moldeo : 06/12/2013
 Fecha de rotura : 20/12/2013
 Tiempo de curado : 14 días

Nº Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CRC -14D	15	426.5	43486.2	246.1	117.18
CRC -14D	15	416.2	42438.3	240.2	114.36
CRC -14D	15	421.5	42984.7	243.2	115.83

f'c Promedio: 243.2
 Desv. Estándar: 3.0

Fecha de moldeo : 06/12/2013
 Fecha de rotura : 03/01/2014
 Tiempo de curado : 28 días

Nº Testigos	D (cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia f'c (Kg/Cm ²)	% de Diseño
CRC -28D	15	462.1	47117.0	266.6	126.97
CRC -28D	15	466.2	47540.0	269.0	128.11
CRC -28D	15	484.8	49433.0	279.7	133.21

f'c Promedio: 271.8
 Desv. Estándar: 7.0

UNSOH - FIMGO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

 JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Coleg. de Ingenieros No. 33972



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTÉCNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO PATRÓN

Fecha de moldeo : 09/12/2013
 Fecha de rotura : 23/12/2013
 Tiempo de curado : 14 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 14d	15.3	15.4	23.6	2402.5	29.8
CPF - 14d	15.4	15.6	24.5	2497.3	30.0
CPF - 14d	15.4	15.3	20.5	2086.3	26.0

Mr Promedio: 28.6
 Desv. Estándar: 2.2

Fecha de moldeo : 09/12/2013
 Fecha de rotura : 06/01/2014
 Tiempo de curado : 28 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 28d	15.4	15.4	27.0	2750.2	33.9
CPF - 28d	15.3	15.4	27.3	2781.8	34.5
CPF - 28d	15.3	15.4	26.7	2718.6	33.7

Mr Promedio: 34.0
 Desv. Estándar: 0.4

Fecha de moldeo : 09/12/2013
 Fecha de rotura : 23/01/2014
 Tiempo de curado : 45 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 45d	15.3	15.3	29.5	3003.1	37.7
CPF - 45d	15.2	15.5	27.0	2750.2	33.9
CPF - 45d	15.3	15.4	29.1	2971.5	36.9

Mr Promedio: 36.2
 Desv. Estándar: 2.0

UNSOB - FIMGO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

J. Estrada
 JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Coleg. de Ingenieros No. 33072



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTÉCNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (20 kg/m³)

Fecha de moldeo : 13/12/2013
 Fecha de rotura : 27/12/2013
 Tiempo de curado : 14 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 14d	15.4	15.4	30.3	3089.2	38.1
CRF - 14d	15.5	15.3	27.7	2828.7	35.1
CRF - 14d	15.4	15.3	28.8	2940.4	36.7

Mr Promedio: 36.6
 Desv. Estándar: 1.5

Fecha de moldeo : 13/12/2013
 Fecha de rotura : 10/01/2014
 Tiempo de curado : 28 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 28d	15.3	15.4	32.9	3349.8	41.5
CRF - 28d	15.2	15.4	30.7	3126.4	39.0
CRF - 28d	15.2	15.5	31.4	3200.9	39.4

Mr Promedio: 40.0
 Desv. Estándar: 1.3

Fecha de moldeo : 13/12/2013
 Fecha de rotura : 27/01/2014
 Tiempo de curado : 45 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 45d	15.5	15.4	35.8	3647.5	44.7
CRF - 45d	15.4	15.5	35.0	3573.1	43.5
CRF - 45d	15.4	15.3	33.9	3461.4	43.2

Mr Promedio: 43.8
 Desv. Estándar: 0.8

UNSOH - FIMCO
 Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

J. Estrada
 JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Quito, Co. Ingenieros No. 32972



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTÉCNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN O MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRA WIRAND (20 kg/m³)

Fecha de moldeo : 13/12/2013
Fecha de rotura : 27/12/2013
Tiempo de curado : 14 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 14d	15.4	15.4	30.3	3089.2	38.1
CRF - 14d	15.5	15.3	27.7	2828.7	35.1
CRF - 14d	15.4	15.3	28.8	2940.4	36.7

Mr Promedio: 36.6
Desv. Estándar: 1.5

Fecha de moldeo : 13/12/2013
Fecha de rotura : 10/01/2014
Tiempo de curado : 28 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 28d	15.3	15.4	32.9	3349.8	41.5
CRF - 28d	15.2	15.4	30.7	3126.4	39.0
CRF - 28d	15.2	15.5	31.4	3200.9	39.4

Mr Promedio: 40.0
Desv. Estándar: 1.3

Fecha de moldeo : 13/12/2013
Fecha de rotura : 27/01/2014
Tiempo de curado : 45 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CRF - 45d	15.5	15.4	35.8	3647.5	44.7
CRF - 45d	15.4	15.5	35.0	3573.1	43.5
CRF - 45d	15.4	15.3	33.9	3461.4	43.2

Mr Promedio: 43.8
Desv. Estándar: 0.8

UNSOB - PIMGO
Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
INGENIERO CIVIL
Reg. Oficio de Ingeniero No. 33972



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE RESISTENCIA A LA FLEXION O MODULO DE
ROTURA DE CONCRETO PATRÓN A DIFERENTES ALTURAS DE PROBETA

Fecha de moldeo : 04/04/2014
Fecha de rotura : 02/05/2014
Tiempo de curado : 28 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 28d	15.4	15.4	27.0	2750.2	33.9
CPF - 28d	15.3	15.4	27.3	2781.8	34.5
CPF - 28d	15.3	15.4	26.7	2718.6	33.7

Mr Promedio: 34.0
Desv. Estándar: 0.4

Fecha de moldeo : 04/04/2014
Fecha de rotura : 02/05/2014
Tiempo de curado : 28 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 28d	15.4	18.1	39.9	4068.7	36.3
CPF - 28d	15.3	17.9	39.6	4038.1	37.1
CPF - 28d	15.3	18.2	40.1	4089.1	36.3

Mr Promedio: 36.6
Desv. Estándar: 0.4

Fecha de moldeo : 04/04/2014
Fecha de rotura : 02/05/2014
Tiempo de curado : 28 días

N° Testigos	Base b (cm)	Altura h(cm)	Carga (KN)	Carga (Kg)	Resistencia Mr (Kg/Cm ²)
CPF - 28d	15.3	20.3	54.6	5567.7	39.7
CPF - 28d	15.2	20.2	54.4	5547.3	40.2
CPF - 28d	15.3	20.4	54.8	5588.0	39.5

Mr Promedio: 39.8
Desv. Estándar: 0.4

UNSOH - FIMGO
Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

JEFE DE LABORATORIO

JOSE CRISTO ESTRADA CAROLAS
INGENIERO CIVIL
Reg. C.O.T.G. de Ingenieros No. 38072



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

LABORATORIO GEOTÉCNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) - NTP339.145

PROYECTO : Tesis "INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO EMPLEADO PARA PAVIMENTOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISTAS EN LA PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO"

SOLICITANTE : WALTER REYNAN QUISPE CCAHUÍN

UBICACIÓN Lugar : AA.HH. 11 de Junio

Distrito : Ayacucho.

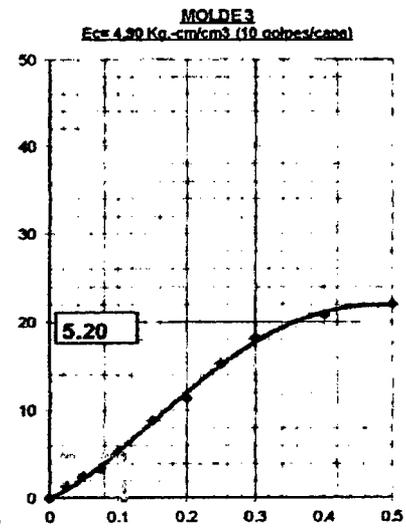
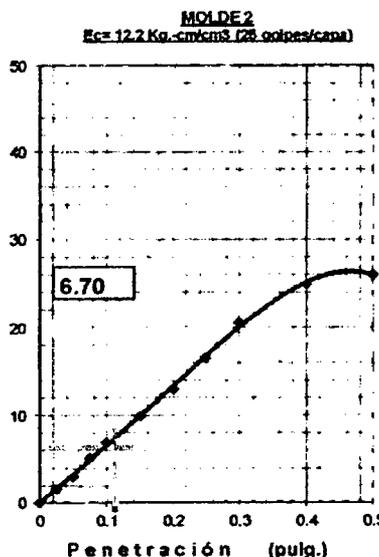
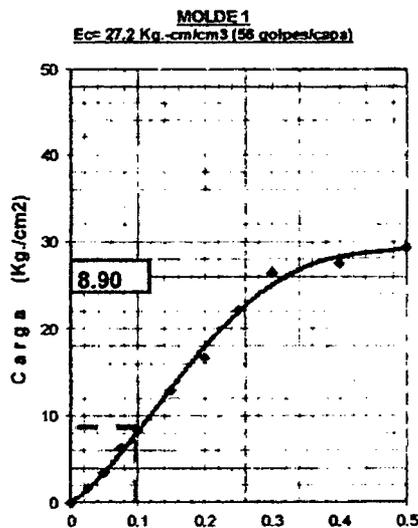
Provincia : Huamanga.

CALICATA : C-1 **PROGESIVA** : 0-040

MUESTRA : M-1 **FECHA** : 11/11/13

ENSAYO DE COMPACTACIÓN				CONTENIDO DE HUMEDAD				
Nº	Prueba Nº :	1	2	3	Prueba Nº :	1	2	3
1	Nº de Molde	I	II	III	Nº de tara	1	2	3
2	Volumen del Molde (cm ³)	2120.00	2102.00	2081.00	Peso de tara (gr.)	36.20	33.20	35.50
3	Nº de Capas	5	5	5	P. Tara + Suelo Húmedo (gr.)	182.40	117.00	183.20
4	Nº de Golpes por Capa	56	25	10	P. Tara + Suelo Seco (gr.)	161.00	104.50	144.20
5	Peso del Molde + Suelo Comp. (gr.)	8398.90	8155.30	7812.20	Peso del Agua (gr.)	21.40	12.50	19.00
6	Peso del Molde (gr.)	4020.50	4018.70	4081.60	Peso Suelo Seco (gr.)	124.80	71.30	108.70
7	Peso Suelo Compacto (gr.)	4378.40	4136.60	3730.60	Contenido de Humedad (%)	17.15	17.53	17.48
8	Densidad Húmeda (gr./cm ³)	2.065	1.968	1.793				
9	Densidad Seca (gr./cm ³)	1.783	1.674	1.526				

PENETRACIÓN DEL DIAL EN MOLDES									
Nº	PENETRACIÓN		PRESIÓN PATRÓN (Kg./cm ²)	MOLDE I		MOLDE II		MOLDE III	
	Pulg.	mm.		Lect. (Kg.)	Kg./cm ²	Lect. (Kg.)	Kg./cm ²	Lect. (Kg.)	Kg./cm ²
1	0	0	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.025	0.635	-	33.20	1.72	31.20	1.81	26.80	1.39
3	0.050	1.270	-	67.80	3.50	58.70	3.03	50.20	2.59
4	0.075	1.905	-	121.40	6.27	99.90	5.18	66.50	3.44
5	0.100	2.540	70	161.40	8.34	133.40	6.89	101.40	5.24
6	0.150	3.810	-	251.40	12.89	191.40	9.89	171.40	8.86
7	0.200	5.080	105	322.80	16.68	251.60	13.00	220.50	11.40
8	0.260	6.350	-	429.00	22.17	320.60	16.57	295.60	15.28
9	0.300	7.620	133	511.40	26.43	397.60	20.86	351.60	18.17
10	0.400	10.160	181	532.20	27.50	482.50	24.94	403.30	20.84
11	0.500	12.700	182	568.10	29.36	502.60	25.97	426.50	22.04



UNSCB - PIMCC
Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

J. Estrada
JEFE DE LABORATORIO

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDENAS
INGENIERO CIVIL
Rsg. Coleg. de Ingenieros No. 33072



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

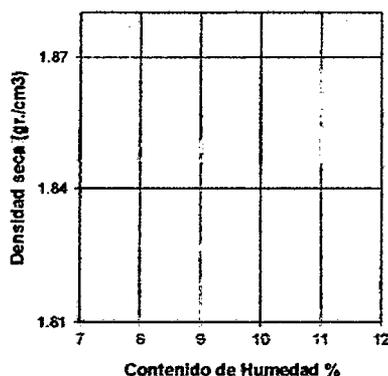
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

LABORATORIO GEOTÉCNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

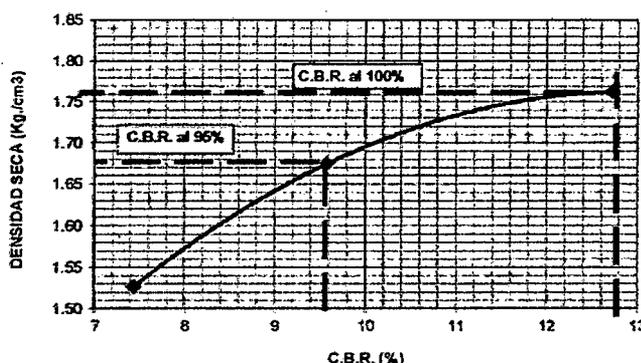
MEDICIÓN DE LA EXPANSIÓN									
Tiempo (Hrs.)	MOLDE I			MOLDE II			MOLDE III		
	Lectura del dial (pulg.)	Expansión (mm)		Lectura del dial (pulg.)	Expansión (mm)		Lectura del dial (pulg.)	Expansión (mm)	
96.00	-	-	-	-	-	-	0.077	1.96	1.69%

C.B.R. Para 0.1 Pulgada de PENETRACIÓN					
MOLDE Nº	PENETRACIÓN (Pulg.)	PRESIÓN APLICADA (Kg./cm ²)	PRESIÓN PATRÓN (Kg./cm ²)	C.B.R. (%)	DENSIDAD SECA (gr./cm ³)
I	0.1	8.90	70	12.71	1.763
II	0.1	6.70	70	9.57	1.674
III	0.1	5.20	70	7.43	1.526

Relación de Humedad - Densidad



CURVA: DENSIDAD SECA vs C.B.R.



M.D.S. al 100% = 1.76 gr./cm³

M.D.S. al 95% = 1.67 gr./cm³

RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE C.B.R

a).- Ensayo Preliminar de Análisis Granulométrico y Compactación:

Clasificación SUCS		Ensayo de Proctor Modificado ASTM-D1557 (A)-91	
CL	ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD	Máxima Densidad Seca (gr./cm ³)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
LL (%) =	32.47	1.76	15.19
I.P. (%) =	15.80		

b).- Compactación de Moldes:

MOLDE Nº	MOLDE I	MOLDE II	MOLDE III
Nº de Capas	5	5	5
Número de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (gr./cm ³)	1.763	1.674	1.526
Contenido de Humedad (%)	17.15	17.83	17.48

c).- C.B.R.

C.B.R. para el 100% de la M.D.S. =	12.71 %
C.B.R. para el 95% de la M.D.S. =	10.01 %

d).- Expación (%)

E=	1.96 mm	1.69%
----	---------	-------

UNSOH - FIMGO
Laboratorio Geotécnico y Ensayo de Materiales

J. Estrada
Jefe de Laboratorio

JOSE ERNESTO ESTRADA CARDEAS
INGENIERO CIVIL
Reg. Coleg. de Ingenieros No. 39872

Apéndice C

Cálculo de diseños factoriales

Anexo C

Cálculo de diseños factoriales

En primer lugar vamos a estudiar los diseños más simples, es decir aquellos en los que intervienen sólo dos factores. Supongamos que hay a niveles para el factor A y b niveles del factor B , cada réplica del experimento contiene todas las posibles combinaciones de tratamientos, es decir contiene los ab tratamientos posibles.

C.1. El modelo sin replicación

El modelo estadístico para este diseño es:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + u_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, a \ ; \ j = 1, 2, \dots, b \ , \text{ donde}$$

- y_{ij} : Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor A y al nivel (j) del factor B .
- μ : Efecto constante denominado media global.
- τ_i : Efecto producido por el nivel i -ésimo del factor A , $(\sum_i \tau_i = 0)$.
- β_j : Efecto producido por el nivel j -ésimo del factor B , $(\sum_j \beta_j = 0)$.
- $(\tau\beta)_{ij}$: Efecto producido por la interacción entre $A \times B$, $(\sum_i (\tau\beta)_{ij} = \sum_j (\tau\beta)_{ij} = 0)$.
- u_{ij} son vv aa. independientes con distribución $N(0, \sigma)$.

Supondremos que se toma una observación por cada combinación de factores, por tanto, hay un total de $N = ab$ observaciones.

Parámetros a estimar:

Parámetros	Número
μ	1
τ_i	$a - 1$
β_j	$b - 1$
$(\tau\beta)_{ij}$	$(a - 1)(b - 1)$
σ^2	1
Total	$ab + 1$

A pesar de las restricciones impuestas al modelo,

$$\sum_i \tau_i = \sum_j \beta_j = \sum_i (\tau\beta)_{ij} = \sum_j (\tau\beta)_{ij} = 0,$$

el número de parámetros ($ab + 1$) supera al número de observaciones (ab). Por lo tanto, algún parámetro no será estimable.

C.1.1. Estimación de los parámetros del modelo

Los estimadores máximo verosímiles de los parámetros del modelo son

$$\hat{\mu} = \bar{y}_{..} \quad , \quad \hat{\tau}_i = \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..} \quad , \quad \hat{\beta}_j = \bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..} \quad \text{y} \quad (\widehat{\tau\beta})_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..}$$

Los residuos de este modelo son: $e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} = y_{ij} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j - (\widehat{\tau\beta})_{ij} = 0$.

Por lo tanto, al ser los residuos nulos no es posible estimar la varianza del modelo y no se pueden contrastar la significatividad de los efectos de los factores. Dichos contrastes sólo pueden realizarse si:

- Suponemos que la interacción entre $A \times B$ es cero. Entonces $e_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..}$.
- Replicamos el experimento (Tomamos varias observaciones por cada combinación de factores).

C.2. El modelo con replicación

El modelo estadístico para este diseño es:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + u_{ijk} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, a \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, b \quad ; \quad k = 1, 2, \dots, r$$

donde r es el número de repeticiones y $n = abr$ es el número de observaciones.

El número de parámetros de este modelo es, como en el modelo de dos factores sin replicación, $ab + 1$ pero en este caso el número de observaciones es abr .

C.2.1. Estimación de los parámetros del modelo

Los estimadores máximo verosímiles de los parámetros del modelo son $\hat{\mu} = \bar{y}_{...}$, $\hat{\tau}_i = \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...}$, $\hat{\beta}_j = \bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...}$ y $(\widehat{\tau\beta})_{ij} = \bar{y}_{ij.} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...}$ donde

- *) $\bar{y}_{ij.}$ es la media de las r observaciones en la celdilla ij : $\bar{y}_{ij.} = (\sum_k y_{ijk}) / r$
- *) $\bar{y}_{i..}$ es la media de las observaciones del nivel i del factor A :

$$\bar{y}_{i..} = (\sum_{j,k} y_{ijk}) / (br) ; i = 1, \dots, a$$
- *) $\bar{y}_{.j.}$ es la media de las observaciones del nivel j del factor B :

$$\bar{y}_{.j.} = (\sum_{i,k} y_{ijk}) / (ar) ; j = 1, \dots, b$$
- *) $\bar{y}_{...}$ es la media total de las observaciones : $\bar{y}_{...} = (\sum_{i,j,k} y_{ijk}) / r$.

Los residuos de este modelo son:

$$e_{ijk} = y_{ijk} - \hat{y}_{ijk} = y_{ijk} - \hat{\mu} - \hat{\tau}_i - \hat{\beta}_j - (\widehat{\tau\beta})_{ij} = y_{ijk} - \bar{y}_{ij.}$$

Se verifica que todos los residuos de una celdilla deben sumar cero es decir, en cada celdilla hay $r - 1$ residuos independientes. Por lo tanto, en total habrá $ab(r - 1)$ residuos independientes.

Se verifican las mismas propiedades para los estimadores máximo-verosímiles que en los modelos anteriores. La varianza residual tiene la siguiente expresión

$$\hat{S}_R^2 = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^r e_{ijk}^2}{ab(r - 1)}$$

C.2.2. Descomposición de la variabilidad

La ecuación básica del análisis de la varianza es:

$$\sum_{i,j,k} (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2 = br \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2 + ar \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2 + r \sum_{i,j} (y_{ij.} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{...})^2 + \sum_{i,j,k} (y_{ijk} - \bar{y}_{ij.})^2$$

que simbólicamente podemos escribir: $SCT = SCA + SCB + SC(AB) + SCR$. Estas sumas de cuadrados también se pueden expresar como:

- $SCT = \sum_{i,j,k} y_{ijk}^2 - (y_{...}^2) / r$: Suma total de cuadrados.
- $SCA = \left(\sum_i y_{i..}^2 \right) / (br) - (y_{...}^2) / (abr)$: S. C. entre niveles de A.
- $SCB = \left(\sum_j y_{.j.}^2 \right) / (ar) - (y_{...}^2) / (abr)$: S. C. entre niveles de B.
- $SC(AB) = \left(\sum_{i,j} y_{ij.}^2 \right) / r - (y_{...}^2) / (abr) - SCA - SCB$: S. C. de la interacción $A \times B$
- $SCR = SCT - SCA - SCB - SC(AB)$: S. C. del error.

A partir de la ecuación básica del ANOVA se pueden construir los cuadrados medios definidos como:

- * Cuadrado medio total: $CMT = (SCT) / (n - 1)$
- * Cuadrado medio de A: $CMA = (SCA) / (a - 1)$
- * Cuadrado medio de B: $CMB = (SCB) / (b - 1)$
- * Cuadrado medio de la interacción $A \times B$: $CM(AB) = (SC(AB)) / ((a - 1)(b - 1))$
- * Cuadrado medio residual: $CMR = (SCR) / (ab(r - 1))$

C.2.3. Análisis estadístico

El objetivo del análisis es realizar los contrastes de hipótesis nula:

- i) $H_{0A} \equiv \tau_1 = \dots = \tau_a = 0$. Es decir, considerando la presencia de las interacciones con el factor B, contrastar si los efectos de los niveles del factor A son nulos. El estadístico de contraste es

$$F_A = \frac{(SCA) / (a - 1)}{(SCR) / (ab(r - 1))} = \frac{CMA}{CMR} \rightsquigarrow^{H_{0A}} F_{(a-1), ab(r-1)}$$

Se rechaza H_{0A} al nivel α si $F_{\alpha(\text{exp})} > F_{(a-1), ab(r-1)}$

- ii) $H_{0B} \equiv \beta_1 = \dots = \beta_b = 0$. Es decir, considerando la presencia de las interacciones con el factor A, contrastar si los efectos de los niveles del factor B son nulos. El estadístico de contraste es

$$F_B = \frac{(SCB) / (b - 1)}{(SCR) / (ab(r - 1))} = \frac{CMB}{CMR} \rightsquigarrow^{H_{0B}} F_{(b-1), ab(r-1)}$$

Se rechaza H_{0B} al nivel α si $F_{\alpha(\text{exp})} > F_{(b-1), ab(r-1)}$.

iii) $H_{0(AB)} \equiv (\tau\beta)_{ij} = 0$ para todo i, j . Es decir, contrastar si los efectos de las interacciones entre los factores A y B son nulos. El estadístico de contraste es

$$F_{(AB)} = \frac{(SC(AB)) / ((a-1)(b-1))}{(SCR) / (ab(r-1))} = \frac{CM(AB)}{CMR} \rightsquigarrow^{H_{0(AB)}} F_{(a-1)(b-1), ab(r-1)}$$

Se rechaza $H_{0(AB)}$ al nivel α si $F_{\alpha(\text{exp})} > F_{(a-1)(b-1), ab(r-1)}$.

Tabla ANOVA para el modelo bifactorial con replicación

F. V.	S. C.	G. L.	C. M.	F_{exp}
Factor A	SCA	$a - 1$	CMA	CMA/CMR
Factor B	SCB	$b - 1$	CMB	CMB/CMR
Interacción	$SC(AB)$	$(a - 1)(b - 1)$	$CM(AB)$	$CM(AB)/CMR$
Residual	SCR	$ab(r - 1)$	CMR	
TOTAL	SCT	$abr - 1$	CMT	

La diagnosis y validación del modelo se realiza igual que en los modelos anteriores.

Ejemplo C.1

En unos laboratorios se está estudiando los factores que influyen en la resistencia de un tipo particular de fibra. Se eligen al azar cuatro máquinas y tres operarios y se realiza un experimento factorial usando fibras de un mismo lote de producción. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla adjunta. Analizar los resultados y obtener las conclusiones apropiadas.

Operario	Tipos de máquinas			
	A	B	C	D
1	109	110	108	110
	110	115	109	108
2	110	110	111	114
	112	111	109	112
3	116	112	114	120
	114	115	119	117

Para realizar el análisis organizamos los datos en forma tabular de la manera siguiente:

Operario	Tipos de máquinas								y _{i..}
	A		B		C		D		
1	109	219	110	225	108	217	110	218	879
2	110	222	110	221	111	220	114	226	889
3	116	230	112	227	114	233	120	237	927
y _{.j}	671		673		670		681		2695

Las Sumas de Cuadrados y la Tabla ANOVA se muestran a continuación

$$SCT = (109^2 + \dots + 117^2) - \frac{(2695)^2}{24} = 262,97$$

$$SCA = \frac{879^2 + 889^2 + 927^2}{3 \times 2} - \frac{(2695)^2}{24} = 12,46$$

$$SCB = \frac{671^2 + 673^2 + 670^2 + 681^2}{4 \times 2} - \frac{(2695)^2}{24} = 160,33$$

$$SC(AB) = \frac{219^2 + \dots + 237^2}{2} - \frac{(2695)^2}{24} - 12,46 - 160,33 = 44,67 \text{ y } SCR = 45,5.$$

F. V.	S. C.	G. L.	C. M.	F _{exp}
Factor A	12,46	3	4,15	1,10
Factor B	160,34	2	80,17	21,14
Interacción	44,67	6	7,45	1,96
Residual	45,50	12	3,79	
TOTAL	262,97	23		

Realizando los contrastes al nivel de significación del 5 %, se concluye que es significativo el efecto principal del "operario" (factor B) ($F_{0,05,2,12} = 3,49$), pero no son significativos el efecto principal del tipo de máquina (factor A) ($F_{0,05,3,12} = 3,89$) y la interacción entre el tipo de máquina y operario (factor A x B) ($F_{0,05,6,12} = 3,00$).

IV. Percentage Points of the F Distribution (continued)

$$F_{0.05, \nu_1, \nu_2}$$

ν_2	ν_1	Degrees of Freedom for the Numerator (ν_1)																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00