

Universidad Nacional de Huancavelica

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - CIVIL
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL - LIRCAY



TESIS

**VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERÍA
ELÉCTRICA COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFÁLTICA
EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE**

**LINEA DE INVESTIGACIÓN GEOTECNIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

BACH: CHOQUE HINOJOSA, RUBEN DARIO

ASESOR:

Ing. URIEL NEIRA CALSIN

HUANCAVELICA - PERU - 2012



117

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

EN EL PARANINIFO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA MINAS - CIVIL, ESCUELA ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL - LIRCAY, A LOS TRES DIAS DEL MES DE DICIEMBRE DEL DOS MIL DOCE, SIENDO LAS SIETE Y QUINCE MINUTOS PASADO MERIDIANO, SE ENSELO LOS MIEMBROS DEL JURADO EN BASE A LA RESOLUCION DE CONSEJO DE FACULTAD N° 35-2012-FIMC-R-UNH DE FECHA ONCE DE DICIEMBRE DEL DOS MIL DOCE; EN EL CUAL SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO- APROBAR LA DESIGNACION DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACION DE TESIS, DE LOS TESISISTAS DEL IV CURSO DE TITULACION POR TESIS " DEL TESISISTA DE LA EAPC- LIRCAY DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS - CIVIL CUYO PROYECTO TITULADO " VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESTORIA DE ALERIA ELECTRIA COMO ACRECADO EN MEZCLA ASFALTICA EN LA CIUDAD DE CHIMBOTE " SIENDO EL RESPONSABLE DEL PROYECTO DE INVESTIGACION CIENTIFICA EL BACHILLER CHORUE HIMOSO RUBEN DARIO, COMO MIEMBROS DEL JURADO COMO PRESIDENTE ING. DEDICACION MIGUEL MEDINA (HARPE), COMO SECRETARIO ABO. HUGO CAMILO SALAS TOCASCA Y COMO VOCAL DIC. FRANKLIN SURICHAQUI BUTIERREZ.

CON LA FINALIDAD DE EVALUAR LA SUSTENTACION DEL TESISISTA REFERIDO, SE PROCEDE CON LA PARTICIPACION DEL PRESIDENTE DANDO LAS INSTRUCCIONES CORRESPONDIENTES PARA DAR INICIO A LA SUSTENTACION.

PRIMERO: DANDO EL TIEMPO RECLAMATORIO DE 30 MINUTOS DE SUSTENTACION SEGUNDO: TERMINADA LA EXPOSICION SE PROCEDE A LA FORMULACION DE PREGUNTAS PERTINENTES EL CUAL FUE ABSUELTA POR EL TESISISTA.

TERCERO: LOS MIEMBROS DEL JURADO DESPUES DE UN LARGO DEBATE DECLARARON PROCEDER (POR) LA APROBACION POR MAYORIA.

SIENDO LAS OCHO Y CUARTO PASADO MERIDIANO DEL DOS MIL DOCE. EN SENAL DE CONFORMIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
SEDE: LIRCAY
CERTIFICADO DE LA PRESENTE ES COPIA FIEL
DE LA ORIGINAL QUE SE ENCUENTRA EN LA VISTA
PREMIEROS DE NOVIEMBRE
ING. ZOSIMO NAHUI GASPAR
(e) FEDATARIO
21 JUL. 2014

ABO. HUGO SALAS T.
SECRETARIO

ING. Franklyn Surichagui B.
VOCAL

ING. Miguel Medina Ch.
PRESIDENTE

DEDICATORIA:

A nuestros queridos padres, por ser fuente y motivación en nuestros quehaceres diarios y por su apoyo incondicional y desinteresado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todo lo que somos.

Al personal directivo, jerárquico, docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería Minas-Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica, sede Lircay.

A mis familiares, principales a nuestros padres, por su apoyo en bien de nuestra formación personal y profesional.

Al Ing. Rodrigo Huamancaja Espinoza e Ing. Dedicación Miguel Medina Champe, por su invaluable apoyo.

Y finalmente al Señor Asesor Ing. Uriel Neira Calsin, por su tiempo y dedicación en la consecución de la presente investigación.

ÍNDICE

Dedicatoria	Pág.
Agradecimientos	iii
Índice	v
Resumen	vi
Introducción	viii
	ix

Capítulo I: Problema

1.1. Planteamiento del problema	11
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivo general y específicos	13
1.4. Justificación	14

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Antecedentes	16
2.2. Bases teóricas	20
2.2.1 Experiencia en uso de escoria eléctrica en países productores de acero	20
2.2.2 Descripción General de Escoria en el Perú	21
2.2.3. Definición de la Escoria Siderurgia	22
2.2.4 Clasificación de la escoria siderúrgica	23
2.2.5. Escoria Ferrosas (FS)	24
2.2.6 Etapas de producción de la escoria de acero (SFS)	25
2.2.7 Tratamiento y proceso de producción de la escoria de acería	27
2.2.8 Características Físicas de la escoria de acería eléctrica	28
2.2.9 Propiedades Químicas y mineralógicas de la Escoria	29
2.2.10 Propiedades Físicas y Mecánica de la escoria de acería	33
2.2.11 ventajas y desventajas del uso de escoria de acería en proyectos viales	37
2.2.12 Diseño de Mezcla Asfáltica	39
2.2.13 Tipos de Mezcla Asfáltica	40

2.2.14 Composición de Mezcla Asfáltica	42
2.2.15 Características y Comportamiento de Mezcla Asfáltica	44
2.2.16 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.	50
2.2.17 Diseño De Mezclas Asfálticas En Caliente	53
2.2.18 Agregados Para Mezclas Asfálticas	69
2.2.19 Propiedades Físicas de los Agregados	70
2.3. Hipótesis	74
2.4. Variables de estudio	75

Capítulo III: Metodología de la investigación

3.1. Ámbito de estudio	76
3.2. Tipo de investigación	76
3.3. Nivel de investigación	76
3.4. Método de investigación	77
3.5. Diseño de Investigación	77
3.6. Población, muestra y muestreo	78
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	79
3.8. Procedimientos de recolección de datos	80
3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	80
3.10. Desarrollo Experimental	80

Capítulo IV: Resultados

4.1. Presentación de resultados	84
4.2. Discusión	90

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias bibliográficas (Modelo Vancouver).

Anexos

- Gráficos, Cuadros, imágenes y otros

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó la escoria producida en la planta de Siderúrgica de Chimbote (SiderPeru) como agregado para base y sub base, y mezcla asfáltica de acuerdo a las especificaciones técnicas y estas están basadas en normas NTP, ASTM y AASHTO.

La escoria estudiada es un subproducto derivado de la fabricación acero la cual se genera en las industrias siderúrgicas que utilizan hornos de arco eléctrico. Las características mecánicas serán determinadas a través de ensayos de granulometría, durabilidad de sulfatos de sodio, abrasión en la máquina de los ángeles, CBR, y las características químicas y mineralógicas que determinaron la composición de la escoria mediante los métodos de absorción atómica y difracción de rayos X.

Uno de los problemas es la naturaleza expansiva y la deficiencia de criterios técnicos que no hacen posible el uso de este material en la construcción, la escoria estudiada fue envejecida hidratada por un periodo de 6 meses utilizando el método de aspersion, luego se realizó el ensayo expansión potencial para materiales que contienen cal libre (CaO, MgO), de acuerdo a la norma ASTM D4792.

Se caracterizó la escoria y el agregado tradicional y se evaluó tres mezclas asfálticas con diferentes dosificaciones de escoria-agregado tradicional (100%, 0%), (70%, 30%), (10%, 30%, 60%). La mezcla con 100% agregado de la zona como parámetro de comparación para

conocer las diferencias entre las mezclas con escoria y las que utilizan agregado tradicional, para el diseño de mezcla se utilizó el método Marshall (AASHTO T=245), la mezcla que presento mejor comportamiento fue la de escoria de acería eléctrica.

Los resultados del estudio permiten concluir que la escoria de acería eléctrica puede ser empleada como agregado para bases y sub bases de pavimentos, siempre y cuando esta sea estable volumétricamente, proporcionando beneficios técnicos, ambientales y económicos comparados con el agregado granular natural.

INTRODUCCION

Este trabajo se trata sobre la posibilidad de utilizar las escorias, un residuo de la fabricación de acero en horno eléctrico, como agregado en mezcla asfáltica de acuerdo a las especificaciones técnica de MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES (MTC), ASTM y AASHTO.

La utilización de residuos industriales puede ayudar a la conservación del medio ambiente y reducir la demanda de recursos naturales convencionales. Al mismo tiempo puede ayudar a preservar el medio ambiente, ya que permite la reducción de vertidos de residuos industriales, que en general causan la degradación de grandes áreas.

Las obras de Ingeniería deben ser eficaces y en lo posible económicas, es decir, éstas deben satisfacer las metas para las cuales fueron concebidas, teniendo el menor costo de construcción, mantenimiento y operación. Existen materiales derivados de la refinación de metales que no tienen o tienen una utilidad mínima. La escoria es uno de estos materiales, el cual existe en grandes cantidades derivados de la refinación del acero, por tanto nuestro objetivo es encontrar una utilidad a la escoria con fines de pavimentación.

CAPITULO I

PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Siempre que exista vida en el planeta habrá una generación constante de residuos. El aumento vertiginoso de la generación de material de desechos en el mundo es un factor negativo para el desarrollo de la política de control de residuos en todas las ciudades del continente. Desde los comienzos de la era industrial a finales del siglo XVIII, la constante evolución tecnológica ha permitido alcanzar unos niveles de desarrollo que han tenido como consecuencia una mejora en la calidad de vida, Este hecho, además de producir un notable incremento demográfico, también ha propiciado la proliferación del número de industrias propiciando una serie de inconvenientes que suponen una amenaza seria para el medio ambiente y el desarrollo futuro. Por una parte, el aumento en la cantidad y variedad de los residuos generados por las diferentes industrias, ha provocado la aparición de problemas en su gestión, dando lugar a un crecimiento de la acumulación de éstos en vertederos, con los impactos que ello conlleva. Por otra, la tendencia marcada por la sociedad ha incurrido en un aumento del consumo de los recursos naturales, generándose problemas de escasez cada vez mayores en el abastecimiento de las materias primas utilizadas en las actividades causantes de este desarrollo.

Debido a esta problemática, a partir de la segunda mitad del siglo XX la sociedad

empieza a tomar conciencia social de la necesidad de minimizar el impacto causado por el proceso evolutivo y aparece una nueva forma de concebir el desarrollo, basada en promover un consumo y un sistema de producción apropiados en la perspectiva de proporcionarnos las necesidades de hoy sin comprometer las de mañana. Así, hoy en día, parece ya bastante instaurado el concepto de sostenibilidad en la mayor parte de Análisis de la Reutilización de Residuos procedentes de las Industrias.

La problemática de generación de residuos domésticos e industriales en las ciudades del Perú, no son ajenas a las otras ciudades del continente, por ello caso específico en la ciudad de Chimbote, existe industria siderúrgica que genera residuos industriales en

grandes cantidades de 500 toneladas por año, que son vertidos al medio, originando impacto negativo. Siendo preocupación de prevenir y controlar la contaminación ambiental, así también el consumo de recursos naturales como el empleo de grandes cantidades de agregados. La mayoría de estos áridos proceden de la explotación de canteras, provocando graves efectos medioambientales, así como importantes pérdidas energéticas y económicas, y el aumento de construcciones de pavimentaciones en las ciudades y carreteras para el desarrollo de la Región. Por tal motivo realizó una investigación, para la reutilización del residuo industrial de las escorias de acería de horno eléctrico, fabricando mezcla asfáltica para el uso en la de rodadura del pavimento en la ciudad de Chimbote y otras ciudades cercanas al residuo industrial de la escoria.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los residuos industriales se utilizó, realizando ensayos para determinar que no son perjudiciales o contaminantes basándonos en ensayos químicos, mineralógicos, mecánicos y físicos. La principal limitación para el uso de la escoria de acería en la construcción civil es la expansión volumétrica que presenta el material, por ello se comprobó las características, propiedades y desempeño como agregado granular. La escoria de acería eléctrica

estabilizada volumétricamente tiene propiedades difíciles de obtener con los agregados naturales.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL:

Durante el desarrollo de esta tesis, se llevó a cabo un estudio del estado de la escoria de acería es un problema concerniente al tema de los residuos, problema general es:

¿Cuál será la viabilidad técnica del uso de la escoria de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote – Ancash?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS:

Durante el estudio realizado la escoria de acería eléctrica se utilizó como agregado fino y grueso para mezcla asfáltica con el método Marshall a continuación vemos el problema específico:

¿Cuáles son las Características de las escorias de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote?

¿Cuáles son los Análisis de viabilidad de la mezcla asfáltica utilizando escoria de acería eléctrica en la ciudad de Chimbote?

1.3 OBJETIVO: GENERAL Y ESPECÍFICOS

Los objetivos de este trabajo se cumplieron evaluando y experimentando las características de escoria de acería eléctrica para uso del pavimento a través de los ensayos y los resultados obtenidos en laboratorios de mecánica de suelo.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL:

Determinar la viabilidad técnica del uso de la escoria de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote de acuerdo a procedimientos y especificaciones normalizadas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Caracterizar las escorias de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote.
- Analizar la viabilidad de la mezcla asfáltica utilizando escoria de acería eléctrica en la ciudad de Chimbote.

1.2 JUSTIFICACIÓN:

Hoy en día las escorias de acería se emplean en muchas partes del mundo, en la fabricación del cemento, como agregados en la fabricación de hormigón, como material de base y sub base en los pavimentos, en la estabilización de sub rasante, en la carpeta asfáltica formando parte del ligante bituminoso; en la agricultura también se ha encontrado aplicación, así como en el tratamiento de aguas residuales. Al emplearse este subproducto en construcción de infraestructura vial se evita explotar nuevas canteras, manteniendo el paisaje de la zona; como no requiere procesar los agregados se reduce el consumo de energía y se reducen las emisiones de CO₂ al ambiente, su empleo también reduce los costos de construcción sin perder calidad, y prolonga la vida útil de los yacimientos pétreos.

La generación de residuos siderúrgicos en grandes cantidades por la EMPRESA SIDER PERU, origina una acumulación y vertimiento al ambiente, ocasionado un impacto negativo, todo el radio urbano de la planta. Tendido en cuenta las propiedades del residuos y habiendo estudios similares en otros países para la reutilización de estos residuos como agregado

para la fabricación de mezcla asfáltica se propone realizar un estudio para la viabilidad del uso de escoria de acería de horno eléctrico.

El gran impacto que sobre el medio ambiente ejerce este material ha llevado a desarrollar diversas técnicas para su reaprovechamiento, previa caracterización de sus propiedades físicas, químicas, mineralógica, mecánica y expansión Potencial por Reacciones de Hidratación. En este trabajo presentamos los resultados de la determinación cualitativa y cuantitativa de fases en muestras de escoria de acería eléctrica de alto horno.

La utilización de las escorias de acería eléctrica producida en siderúrgica de alto horno es viable como agregado en mezcla asfáltica este nuevo componente confiere al asfalto mejores propiedades y ayuda a la conservar el medio ambiente reduciendo la demanda de recursos naturales convencionales. Al mismo tiempo ayuda a preservar el medio ambiente, permitiendo la reducción de residuos industriales, que se encuentran acumulados en general causan la degradación de grandes áreas.

No cabe duda, que en la actualidad, como consecuencia de una reglamentación medioambiental cada vez más estricta y de la escasa disponibilidad de vertederos adecuados, unido esto al deterioro acelerado del medio ambiente y a las necesidades de reconversión o reutilización de este tipo de productos, llevan a una sensibilización en todos los ámbitos por el empleo racional de los subproductos y residuos industriales, y al obligado desarrollo de esta investigación con fin de abrir campos de aplicación a los mismos.

104

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Se propone el empleo de las escorias que se generan en las acerías de horno eléctrico, en el mejoramiento de sub rasante y en la conformación de base, sub bases y para carpeta asfáltica del pavimento; en reemplazo de material granular convencional de cantera, con lo cual se promueve el reciclaje de un residuo que ocupa espacios importantes, y se reduce la explotación de canteras con todo el impacto que significa al medio ambiente. Este Planteamiento se basa en las experiencias de otros países, de quienes hemos obtenido información valiosa al respecto.

2.1 ANTECEDENTES

El empleo de las escorias de acería en la industria de la construcción esta normado en muchos países de Europa, en los Estados Unidos de América y en algunos países de Latinoamérica. Son muchos los países que están empleando con éxito las escorias en la construcción de vías desde hace varios años, en el Perú aún no se da uso intenso a las escorias de acerías; con este trabajo queremos impulsar esta práctica, que va a ayudar a mejorar la gestión ambiental de las acerías y de las empresas constructoras en el Perú vemos a continuación algunos estudios realizados sobre escoria a nivel internacional y nacional.

2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL:

- A. **Francisco Antonio y Sánchez Belmonte (2009)**, realizo trabajo de tesis doctoral titulado **“Análisis de la Reutilización de Residuos Procedentes de la Industria de Silestone en la Fabricación de Mezcla Bituminosas”** con el objetivo general es el estudio de la posibilidad de los residuos procedentes de la industria de Silestone como árido en la fabricación de mezcla bituminosas para su empleo en firmes de carreteras. También la incorporación de estos residuos en la fabricación de mezclas bituminosas puede concebirse como una solución eficaz para resolver, por un lado, el problema de acumulación de estos en vertederos (y los perjuicios ambientales que ello conlleva), y por otro lado, el problema de escasez de áridos para la construcción de carreteras. Podemos decir, que la consecución de dichos objetivo general se concreta en el logro de unos objetivos principal que marcaran el desarrollo de la investigación, y estos a su vez, en unos objetivos secundarios, que marcaran las etapas a seguir durante todo su desarrollo, llegando a los conclusiones en vista a estas conclusiones podemos terminar diciendo que la reutilización de residuos de Silestone como árido de carretera supone una opción seria para la valorización del material, mediante la cual además de eliminar la producción de un residuo, se ayuda a reducir en consumo de un recurso natural cada vez más escaso.

- B. **Pérez Sierra, Edgar G. (2008)**, realizo trabajo de tesis para optar titulo en Ingeniería Civil con el tema titulado **“Evaluación de la Escoria de Horno Como Agregado En Mezcla Asfáltica”** con el objetivo General de Evaluar el uso de escoria de horno como agregado en mezcla asfáltica, de acuerdo a procedimientos y especificaciones normalizadas, llegando a los conclusiones que el porcentaje de absorción en la escoria es mayor al de los agregados tradicionales, estos se traduce en mayor contenido de asfalto. Al combinar la escoria con agregado tradicional se consigue compensar el bajo porcentaje de finos en la misma y disminuir el porcentaje de asfalto en la mezcla. Cuando la

escoria se combina con agregados tradicionales, el contenido de asfalto disminuye conforme aumenta el porcentaje de escoria en la mezcla. Las mezclas con escoria presentan valores más altos de estabilidad que las mezclas con agregados tradicionales.

Debido a que las mezclas con escoria presentan valores más altos de estabilidad, las mismas son más resistentes a las deformaciones causadas por el tráfico. Aun cuando los valores de fluencia en M_a y M_b están fuera de especificaciones, la relación estabilidad fluencia si lo está, debido a los valores altos de estabilidad. Una de las características más importantes es la estabilidad que presentaron las mezclas con escoria, ya que fue más alta que en las mezclas con agregado tradicional, esto contribuye a la durabilidad del pavimento. El método de diseño Marshall es adecuado para diseñar mezcla con escoria, no presento ningún problema en su aplicación a dicho material.

- C. **Arce Cardona, Oscar A. (2007)**, realizo trabajo de investigación para XVI Simposio Colombiano titulado **“La Escoria de Acería como Material de Agregado en Capas Granulares y superiores de Pavimentos Flexibles”**, con el objetivo de analizar las propiedades de escoria y agregado tradicional, llegando a los conclusiones que los resultados se concluye que la escoria de acería cumple con todos los requisitos básicos para ser utilizada con material de relleno en terraplenes, además de esto también cubre las exigencias mínimas de las base y sub base granular del pavimento.
- D. **Lima Raposo, Carlos O. (2005)**, realizo trabajo de tesis de maestría titulado **“Experimental de Compactación e Expansión de una escoria de acería LD para uso en Pavimentos”** con el Objetivo de evaluar experimentalmente las características de compactación e expansión de la escoria de acería LD para uso en pavimentos a través de realización de ensayos de laboratorio, llegando a los conclusiones que la escoria de acería LD es viable pero este estudio debe.

- E. **Amaral de Lima, Luciana (1999)**, Realizo trabajo de tesis doctoral titulado **“Hormigones con escoria de Horno Eléctrico como Árido: Propiedades, Durabilidad y Comportamiento Ambiental”** con el objetivo general de estudiar las posibilidades de utilización de las escorias como áridos para hormigón, llegando a conclusión que los resultados obtenidos de los parámetros generales se observa la baja conductividad debida al baja contenido de sales solubles, los PH básico y las fracciones solubles por debajo de los limites utilizados.

2.1.2. A NIVEL NACIONAL

- A. **Jurado C, Julio y Choque H, Rubén (2009)**, Realizo estudio para ponencia de Coneic titulado **“Viabilidad Para El Uso De La Escoria De Acería Eléctrica Como Material Granular Para Pavimentos”**, con el objetivo de verificar la viabilidad técnica de la utilización de la escoria de acería como agregado para base y sub base de pavimento a través de ensayos de laboratorio. Evaluar la variación potencial volumétrica de la escoria de acería en función al tiempo de almacenamiento, estableciendo un periodo mínimo de cura para ser usado como agregado en base de pavimento. Llegando a conclusión pérdida de peso por desgaste a la abrasión en la máquina de los Ángeles es de 27.6% el límite para agregados naturales es de 40% para bases y 50% para sub bases, si se considerada como agregado natural estaría dentro del rango establecido, por la norma del NTP 400.019:200 (ASTM C 131).

Expansión volumétrica del agregado estudiado es aceptable, la norma ASTM D4792 la limita a un máximo del 0.5% para escorias que contienen oxido de cal y oxido de magnesio esto debido al tiempo de cura de 6 meses. Escoria de acería si es procesada correctamente puede ser utilizada como agregado para variedad de aplicaciones porque alcanza propiedades superiores a los materiales naturales, ajustándose a lo solicitado por las especificaciones técnicas del MTC.

B. **Almeyda Muñoz, Juan A (2007)**, Realizo tesis para optar título profesional en Ingeniería civil titulado **“Uso De Las Escorias Para Mejoramiento De Las Propiedades Físicas Y Mecánicas De Las Canteras En La Oroya”**, con el objetivo del presente estudio ha sido realizada con la finalidad de investigar y obtener cual es el óptimo porcentaje de escoria a ser combinadas con el agregado de tres canteras de propiedad de la Doe Run Perú que se encuentran en la Oroya, para luego obtener, mediante ensayos de granulometría, Límites de Consistencia, Proctor, CBR, Equivalente de Arena, Gravedad Específica y Corte Directo, la óptima combinación que nos permita aumentar los parámetros de resistencia y deformabilidad de los agregados con la finalidad de minimizar los espesores de los pavimentos y aumentar la capacidad portante. De la misma manera se realizará una evaluación de capacidad portante de los agregados en su estado natural y con su óptimo porcentaje de escoria tomando como aplicación una cimentación corrida. Llegando a conclusión de la posibilidad de utilización haciendo combinación con material tradicional cumpliendo las normas técnicas de en cuanto a los ensayos realizado en laboratorio y los resultados arrojado esta en margen de rango lo que dice la norma técnicas.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 EXPERIENCIA EN USO DE ESCORIA ELÉCTRICA EN PAÍSES PRODUCTORES DE ACERO

La experiencia en los Estados Unidos, Bélgica, Japón, Países Bajos, Alemania y Australia ha demostrado que la escoria de acero, debidamente seleccionada, procesada, con edad adecuada, y probada, puede ser utilizada como base granular en las carreteras. La escoria de acero como agregados muestran un número muy favorable de las propiedades mecánicas para su uso en la base granular, incluida la muy alta estabilidad y buena solidez.

Dado que la inestabilidad volumétrica de escoria de acero en base granular (debido a la cal y las reacciones de hidratación cal libre) ha dado lugar a reacciones expansivas.

- a) El uso de la escoria en obras civiles es una práctica antigua, está incluida en las especificaciones de construcción vial de varios países, y en su manejo son aplicables los equipos de construcción que se utilizan para cualquier agregado.
- b) En el Reino Unido se ha utilizado en capas bases y pavimentos asfálticos, las calles del norte de Londres y áreas alrededor de Coventry y Birmingham han sido pavimentadas con escoria durante más de 50 años.
- c) En Estados Unidos la experiencia supera los cuarenta años, cabe citar que debido a los buenos resultados con el uso del agregado, las autoridades aeronáuticas, hace varios años autorizaron la utilización de 750,000 toneladas de escoria de acería para la base de la pista de aterrizaje del aeropuerto internacional de Pittsburg, el que ha cumplido su función desde entonces.
- d) Son también utilizadas frecuentemente en Australia, Japón, India, México, Brasil, Chile y algunos países europeos. En Brasil la pavimentación de la nueva ciudad de Mogi das Cruces, Sao Paulo, se hizo enteramente con escoria de acería, con excelentes resultados. La Br381, una de las carreteras más transitadas del país, fue asfaltada en gran parte con escoria.
- e) En el sur de Chile, carreteras que tienen que soportar el gran peso por eje de camiones que sirven a la industria maderera, están usando escoria en las bases. Además del uso en mezclas asfálticas, la escoria se aplica extensamente como riego de sello en obras de tratamiento superficial.
- f) experiencia en los Estados Unidos, Bélgica, Japón, Países Bajos, Alemania y Australia ha demostrado que la escoria de acero, debidamente seleccionada, procesada, con edad adecuada, y probada, puede ser utilizada como base granular en las carreteras. La escoria de acero como agregados muestran un número muy favorable de las propiedades mecánicas para su uso en la base granular, incluida la muy alta estabilidad y buena solidez.

- g) Dado que la inestabilidad volumétrica de escoria de acero en base granular (debido a la cal y las reacciones de hidratación dolo cal) ha dado lugar a reacciones expansivas.

2.2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE ESCORIA EN EL PERÚ.-

En latinoamericana como en Brasil, Argentina, Chile y otros países se usa como material en la construcción de carreteras en base y sub base de la estructura del pavimento. La escoria de acería es uno de los subproductos que se genera a partir de la producción del acero. La cual se genera en hornos de siderurgias, Su combinación de propiedades físicas de dureza y textura superficial la hacen superior a los agregados tradicionales. Con relación a las tecnologías de producción utilizadas por las empresas locales, SiderPerú cuenta con un complejo siderúrgico integrado ubicado al borde del mar en la ciudad de Chimbote, a 420 Km. Al norte de Lima. Capaz de producir acero por diferentes medios de fabricación, ya sea partiendo de mineral de hierro vía Alto Horno-Convertidores LD o mediante dos hornos eléctricos, La empresa posee una capacidad de producción de 520,000 TM al año de acero líquido.

Por su parte, Corporación Aceros Arequipa cuenta con un horno eléctrico de Fusión y un horno de afino (horno cuchara). La planta de acería ha logrado avances significativos que incluyen el desarrollo de tecnología propia patentada, permitiendo ubicar al horno eléctrico de Aceros Arequipa entre los más rápidos y potentes del mundo, actualmente, la capacidad de producción de acero líquido de la empresa es de 550,000 TM al año.

2.2.3 DEFINICIÓN DE LA ESCORIA SIDERURGIA.-

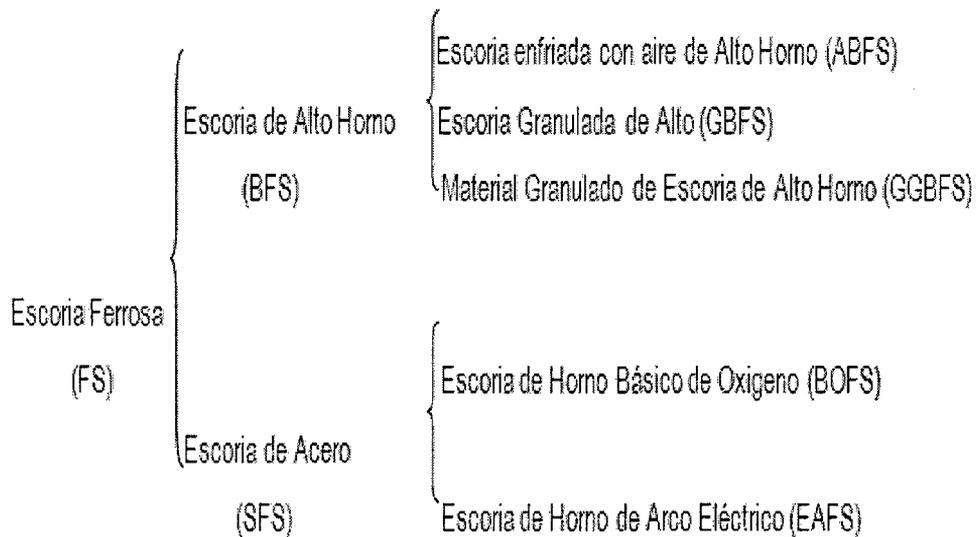
Esta escoria es de tipo ferrosa, es un subproducto que se obtiene en la fusión del hierro o acero, por diferencia de densidades flota en la superficie cuando está en estado líquido, está formada principalmente por la combinación de

óxidos, fundentes, carga metálica, cenizas y revestimiento del horno también podemos definir como un material granular, no metálico, subproducto del proceso siderúrgico en que el arrabio y/o la chatarra se refina para producir acero por lo cual se dividen en:

- a) Escoria de alto horno (Hierro).
- b) Escoria de acería (Acero).

La industria del acero se divide en dos grandes ramas: la integrada (que tiene como principal materias primas, el hierro y el carbón) y la eléctrica (que tiene como principal materia prima, la chatarra). La segunda es más activa por tener una materia prima de menor costo, más accesible y también reciclable. El uso de chatarra es aún superior ya que ofrece mejores características mecánicas en comparación con las otras materias primas utilizadas en la producción de acero.

2.2.4 CLASIFICACIÓN DE LA ESCORIA SIDERÚRGICA



2.2.5. ESCORIA FERROSA (FS).

2.2.5.1.-ESCORIA DE ALTO HORNO (BLAST FURNACE SLAG) BFS.

La escoria de alto horno es un subproducto del proceso de fabricación del hierro. El arrabio se fabrica a partir de mineral de hierro que es una mezcla de óxidos de hierro, sílice y alúmina. El mineral triturado es alimentado sistemáticamente en un alto horno con piedra caliza y dolomita, (agentes fundentes); los materiales combustibles consisten en coque, gas natural, oxígeno y el carbón pulverizado para calentar el flujo de mineral hasta fundirlo.

La escoria líquida es aprovechada por separado de la corriente de hierro para producir la escoria tipo roca o escoria granulada. En la forma fundida, BFS puede transformarse en una gama de productos variando el tipo y las condiciones de solidificación. La escoria enfriada con aire de alto horno (ABFS), tiene predominantemente una estructura de roca cristalina propiedades muy similares a la roca ígneas (basalto), aunque más vesicular, y se forma cuando la escoria fundida se le permite solidificar lentamente en el terreno.

La escorias granulada de de alto horno (GBFS) se forma cuando la escoria fundida se enfriaría rápidamente con un volumen muy alto de agua a alta presión en aerosol. GBFS es esencialmente un silicato de aluminio.

GBFS pueden transformarse en un polvo fino para producir material granulado de escoria de alto horno (GGBFS), utilizando los equipos de molienda del proceso cementero. GBFS y GGBFS se suele utilizar en la

fabricación de cemento y la fabricación de hormigón o como aglutinantes para estabilizar in situ gravas para caminos y áreas de estacionamiento.

Actualmente esta escoria es aprovechada por la industria cemento por Cementos Pacasmayo en la elaboración del tipo MS que tienen una resistencia moderada a los sulfatos.

2.2.5.2.-ESCORIA DE ACERÍA (STEEL FURNACE SLAG) SFS.

La escoria de acero (SFS) se produce en el proceso de refinado de hierro y el acero fundido, reciclado en la presencia de flujos de oxígeno para producir acero fundido.

Existen tres grandes procesos de fabricación de acero, dividido por el proceso de refinado: LD (Linz-Donawitz) o BOF (Horno de chorro de oxígeno) que utiliza el convertidor oxígeno, eléctrico o EAF (Horno de arco eléctrico), utilizando el horno de arco eléctrico y OH (Open Heart), utilizando el horno Siemens-Martin.

En el proceso de fabricación de acero refinado consta de arrabio, chatarra y otros materiales para producir acero, ya sea en un horno básico de oxígeno o un horno de arco eléctrico. La cantidad de escoria que se genera en este proceso de fabricación de acero, es de 110 a 120Kg. por tonelada de acero bruto.

2.2.5.2.1.-ESCORIA DE HORNO BÁSICO DE OXIGENO (BASIC OXYGEN FURNACE SLAG) BOFS.

En SiderPerú se utiliza el método del Convertidor LD proceso Austriaco utilizado en las plantas de Linz y Donawitz, el proceso consiste en la adición de cal fina en polvo al chorro de oxígeno en el cargo este se

derrite y los flujos de silicatos y fósforo del acero fundido forman la escoria, mientras que el soplado de oxígeno reduce el nivel de carbono.

BOFS se solidifica en una manera similar a la lava de un volcán. Su estructura se describe mejor como una solución sólida de óxidos. La escoria fundida es acompañada por partículas residuales de acero (metales), y cuando se enfría es cargado y transportados por carretera a una planta de separación metálica. Los materiales ferrosos son removidos y reciclados como chatarra para la alimentación del proceso de la acería.

2.2.5.2.2.-ESCORIA DE HORNO DE ARCO ELÉCTRICO (ELECTRIC ARC FURNACE SLAG) EAFS.

El EAFS es un subproducto del proceso de acero. El acero fundido y la escoria se producen durante la fusión y el refinado de acero reciclado utilizando la energía eléctrica y flujos.

La cal se utiliza como un flujo para eliminar silicatos y fósforo del acero fundido este proceso forma la escoria. La energía es suministrada por un arco eléctrico, la fusión del acero y flujos, durante el refinado se vierten dando lugar a las coladas que es la separación de la escoria y el acero mediante una puerta o ranura del horno. El acero se drena desde el horno a través de una tapa sumergida y el horno se inclina de nuevo para evitar que se introduzcan en la escoria.

EAFS se solidifica en forma similar a la lava de un volcán. Su estructura se describe mejor como una solución sólida de óxidos. La escoria fundida se acompaña de acero solidificado residual (metales), el material solidificado al enfriarse, es cargado y transportados por carretera a una separación metálica, trituración y tamizado en plantas.

2.2.6 ETAPAS DE PRODUCCIÓN DE LA ESCORIA DE ACERO (SFS)

Una vez retirada la escoria de las fosas de hornos eléctricos, esta pasa a una zona de enfriamiento (Box) en esta zona el material reposa por un periodo de 6 a 12 horas, donde es removida con la ayuda de un cargador frontal y enfriada por medio de chorros de agua en forma de espray, una vez enfriado el material a temperatura aceptable (100 CO - 250 CO), la escoria está lista para ser transportado a otro lugar llamado zona de enfriamiento natural donde reposa aproximadamente 10 a 15 días hasta que este a temperatura ambiente.

La escoria ya fría es sometida al proceso de reciclaje de las partes ferrosas, en una planta separadora de metal, en este proceso se separa el material ferroso que es reutilizado en el proceso de aceración y la escoria de acería libre de material ferroso será transportado y acumulado en depósitos de desechos siderúrgicos y una parte será reutilizado como cama de apoyo en los hornos LD y eléctricos.

2.2.7 TRATAMIENTOS Y PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA ESCORIA DE ACERÍA

En los procesos de escoria se pueden manejar una gran variedad de materiales como la escoria de acero, escoria de cuchara, escorias de fosas entre otros. Estos materiales deben ser separados de la fuente, y bien definidas las prácticas de manejo de los materiales, estas deben estar en diferentes lugares para evitar la contaminación de la escoria de acero en forma global. La escoria de los procesos también debe ser consciente de la contaminación hacia las necesidades del usuario final.

El tratamiento de escorias de acero para la recuperación de los metales no sólo es importante para eliminar el exceso de acero y su reutilización en la planta siderúrgica, sino también es importante para facilitar la utilización de la escoria de acero sin partes metálicas para ser usada en la construcción civil. Este material de escoria no metálica puede ser aplastada y seleccionada para el uso como agregado (agregados de escoria

de acero), o sinterizados y reciclados como material de flujo en el hierro y hornos de acero.

Los agregados de escoria de acero en general, presentan una propensión a crecer volumétricamente, esto es debido a la presencia de cal libre (CaO) y los óxidos de magnesio (MgO) que no han reaccionado con el silicato, estructuras que pueden hidratar y aumentar el volumen en ambientes húmedos. Este carácter potencialmente expansivo (cambios de volumen de hasta el 10 por ciento o más atribuibles a la hidratación de óxidos calcio y magnesio) podría causar dificultades con algunos elementos que contengan la escoria de acero.

La escoria de acero destinado a ser utilizados como agregado debe ser almacenado al aire libre durante varios meses para exponer el material a la humedad y las precipitaciones naturales y/o la aplicación de agua por aspersión. El propósito de tal almacenamiento (envejecimiento), es permitir que potencialmente se elimine la hidratación y expansión a llevarse a cabo antes del uso de los materiales en aplicaciones globales. Existe una amplia variación en la cantidad de tiempo necesario para la adecuada exposición a los elementos. Hasta 18 meses pueden ser necesarias para el hidrato de óxidos expansivos.

2.2.8 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ESCORIA DE ACERÍA ELÉCTRICA

La escoria de acería tiene superficialmente una textura rugosa, forma cúbica y angular. Internamente cada partícula es de naturaleza vesicular, con muchas celdas no intercomunicadas. La estructura celular se forma por los gases atrapados en la escoria caliente en el momento del enfriado y solidificación.

Como las celdas no forman pasajes interconectados, el término "vesicular o celular" es más aplicable que el término "poroso". Cuando la escoria líquida es sometida al proceso

de trituración por agua, se forman fragmentos cúbicos con muy pocas partículas alargadas.

Esta angularidad, combinada con su textura rugosa y peso hacen de ella un material ideal para balasto de vías férreas, bases granulares de carreteras, pavimentos asfálticos, tratamientos superficiales y sellos. Una de las observaciones frecuentes que hacen los que por primera vez conocen la escoria, es que se puede "oxidar", quizás por considerar que este material proviene del proceso de producción del acero. Vale la pena destacar, que de acuerdo a la definición de este material: "mezcla de óxidos y silicatos fundidos" ya la oxidación se completó totalmente y en consecuencia no puede progresar más.

Por su textura rugosa y angular producen superficies de rodamiento antiderrapantes, que mantienen esta característica con el tiempo, por lo cual son ampliamente utilizadas en sellos y tratamientos superficiales.

Se ha observado que la escoria tiene la capacidad de retener el calor en períodos de tiempo considerablemente más largos que los agregados naturales tradicionales, esta característica resulta ventajosa en las mezclas asfálticas, conservando la temperatura por mayor tiempo.

2.2.9 PROPIEDADES QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS DE LA ESCORIA

La composición química y mineralógica de las escorias usualmente se expresa en términos referentes a óxidos simples, la forma mineralógica de las escorias y las proporciones relativas de estos compuestos son muy dependientes del proceso de fabricación del acero y la manera en que son enfriadas, los compuestos predominantes son silicatos de calcio, el óxido de calcio, calcio magnesio, óxido férrico, cal libre y magnesio libre. Las pruebas se llevarán a cabo como la expansión potencial con la normativa ASTM y el análisis químico y mineralógico con el método de absorción atómica y difracción de rayos X (DRX).

2.2.9.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ESCORIA (EAFS)

Es necesario saber la composición química de los materiales a estudiar para poder identificar los materiales peligrosos para el medio ambiente y la salud humana y por otro lado para explicar el comportamiento químico ante un posible uso.

	Generación X Ton de acero	CaO %	MgO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	P ₂ O ₅ %	S %
Japón	127	40	4	25	5	19	7	-	0.06
Suecia	100	46	5	11	5	28	4	0.7	-
EEUU	160	41	10	17	8	18	4	0.6	0.2
Alemania	120	32	10	15	4	31	4	1.4	0.1
Brasil	150	33	10	18	6	30	5	-	-
Italia	120	41	8	14	7	20	6	0.9	0.1
Media	100-160	32-46	4-10	11-25	4-8	18-31	4-7	0.6-1.4	0.1-0.2

Tabla N° 01 Composición química de la escoria
Fuente: GEYER 2,004

- **DIFRACCIÓN DE RAYOS X**

La difracción de rayos X es uno de los fenómenos físicos que se producen al interactuar un haz monocromático de rayos X con una sustancia cristalina. La dispersión coherente que se produce del haz de rayos X por parte de la materia (se mantiene la longitud de onda de la radiación) y la interferencia constructiva de las ondas que están en fase producen la difracción de rayos X obteniéndose un difracto grama. Se utilizó un equipo Shimadzu XRD 6000 del INGEMMET.

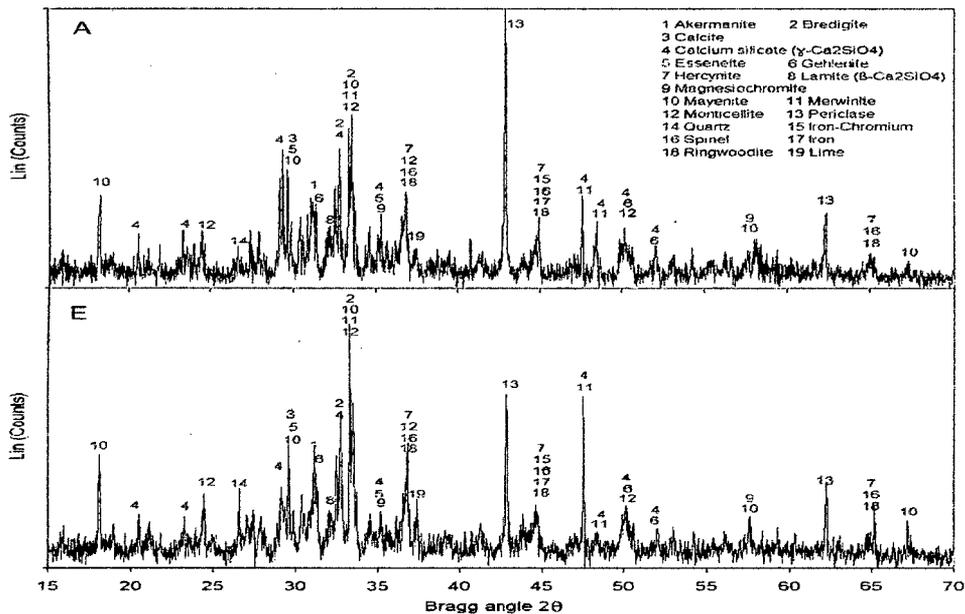


Fig. N° 01 Difractograma DRX

- **ABSORCIÓN ATÓMICA (A.A)**

La Espectroscopia Atómica es un método instrumental que se basa en la absorción, emisión y fluorescencia de radiación electromagnética por partículas atómicas. Se emplean principalmente radiaciones del espectro ultravioleta (UV) y rayos X.

Para obtener un espectro de radiaciones de longitudes de ondas específicas, o rangos pequeños en lugar de bandas, es necesario que las partículas de la muestra se descompongan en partículas elementales gaseosas, proceso conocido como tomización. Donde la muestra se atomiza en la llama pero existe una radiación externa que produce la excitación de los electrones.

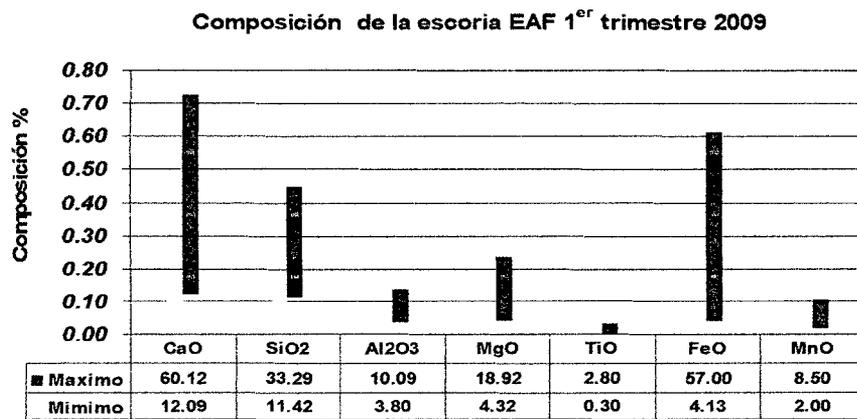
La Espectroscopia de Absorción Atómica (A.A) es una técnica de análisis instrumental, capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos comprendidos en el sistema periódico.



La AA es una técnica muy útil en este campo este método permite determinar diversos elementos en un amplio rango de concentración. Este método utilizado en el laboratorio de SiderPerú, consiste en la medición de las especies atómicas por su absorción a una longitud de onda particular.

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	TiO	FeO	MnO
31.30 %	21.75 %	10.09 %	9.91 %	1.00 %	23.94 %	4.01 %

Fig. N° 02 Requisitos para calidad de mezcla



FUENTE: SIDERPERU-GERDAU

Tabla N° 02 % de Composición promedio del 1er trimestre del 2009

2.2.9.2 COMPOSICIÓN MINERALÓGICA DE LA ESCORIA.

Los elementos que han sido identificados en la composición química pueden estar distribuidos en la matriz formando compuestos cristalinos o pueden estar formando compuestos amorfos.

Se sabe que cuando se deja enfriar lentamente un material a altas temperaturas y en estado líquido, los elementos se agrupan ordenadamente formando estructuras cristalinas estables, pero

cuando se enfría el material bruscamente, los elementos no se agrupan en forma ordenada formando compuestos amorfos.

La importancia de detectar contenido de materia amorfo es que esta tiende a reordenarse, lo que confiere la propiedad de reactividad: hidráulica si el material reacciona con el agua, reactividad puzolánica si reacciona con el hidróxido de calcio.

Mineral	Composición Química	%
Amorfo	-	31.25
Merwinita	$\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$	23.12
Plustita	FeO	10.83
Fluorapatita	$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_5\text{CO}_3\text{F}_{1.5}(\text{OH})_{0.5}$	8.33
Magnesita	MgCO_3	8.12
Magnetita	Fe_3O_4	4.58
Calcita	CaCO_3	4.19
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	2.92
Cuarzo	SiO_2	2.50
Piuhnita	$\text{FeCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.29
Cal	CaO	1.87

Tabla N° 03 Composición mineralógica de la escoria

2.2.10 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA ESCORIA DE ACERÍA.

Las escorias de acero pueden ser tratadas fácilmente para satisfacer con las normas de MTC y ASTM. Esta especificación se refiere a la calidad y la clasificación de los siguientes materiales para uso en la construcción de sub base, base y Carpeta del Pavimento: las mezclas arena-arcilla, grava, piedra, escoria, arena o triturado de agregado grueso compuesto de grava, piedra triturada, escoria o cualquier combinación de estos materiales.

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50mm (2")	100	100	-	-
25mm (1")	-	75-95	100	100
9.5mm (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75mm (N° 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.0mm (N° 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
4.25um (N° 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75um (N° 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Tabla N° 04 Gradación para agregado granular

Ensayo	Norma			Bases Granulares	Sub bases
	MTC	ASTM	AASHTO	Requerimiento < 3000 msnm	Requerimiento < 3000 msnm
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193		40 % mín.
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% mín.	
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% mín.	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx.	50% máx.
Partículas Chatas y Alargadas (2)	MTC E 221	D 4791		15% máx.	20% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	D 1888		0.5% máx.	
Pérdida con Sulfato de Sodio	MTC E 209	C 88	T 104	--	
Pérdida con Sulfato de Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	--	
Índice Plástico	MTC E 111			4% máx.	6% máx.
Equivalente de arena	MTC E 114			35% mín.	25% mín.
Sales solubles totales	MTC E 219			0,55% máx.	1% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214			35% mín.	
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89		25% máx.

Tabla N° 05 Requerimientos de Ensayos de laboratorio para bases, sub bases Granulares

Requisitos de Calidad de Agregados para Mezclas Asfálticas

ENSAYO	CAPA DE SUPERFICIE	CAPA DE BASE
Durabilidad	12%	15%
Abrasión	máx 40%	máx 50%
Partículas Chatas y Alargadas	máx 15%	máx 15%
Porcentaje de absorción de agua	máx 1%	máx 1%
Equivalente de arena	mín 50%	mín 40%
Adherencia (% ret)	+95	+95
Riedel Weber	grado 4	grado 4

Tabla N° 06 Requisitos para calidad de mezcla

2.2.10.1.- EXPANSIBILIDAD DE LA ESCORIA DE ACERÍA

La característica expansiva de la escoria de acería está asociada a la hidratación de cal libre (CaO, MgO) a la corrosión y oxidación del hierro metálico residual.

El óxido de calcio libre (CaO) presente en la escoria de acería constituye un factor inestable por su transformación en hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) que puede causar expansión volumétrica y al mismo tiempo desagregación del material.

El proceso de hidratación de este óxido se da de acuerdo con la ecuación 1, los índices indican el estado físico del material. $\text{CaO}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{Ca(OH)}_2_{(s)}$ **Ecu. 1** (Hidróxido de calcio).

La utilización de cal dolomítica por el desgaste del refractario del horno en el proceso de refinado del acero son responsables de la presencia de óxido de magnesio (MgO) en la escoria, con la presencia de humedad puede hidratarse lentamente formando un hidróxido de magnesio Mg(OH)₂ de acuerdo con la ecuación 2. $\text{MgO}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} = \text{Mg(OH)}_2_{(s)}$ **Ecu. 2** (Hidróxido de magnesio).

La mayor parte de la expansión volumétrica ocurre a corto plazo debido a reacciones de hidratación de óxido de calcio, fenómeno rápido, en cuanto al óxido de magnesio el proceso de hidratación es más lento, tiene periodo prolongado de expansión.

ENSAYO DE EXPANSIÓN VOLUMÉTRICA (ASTM D4792)

El objetivo de este ensayo es determinar la expansión de la escoria por hidratación de agua. Este método fue adoptado para la evaluación de la expansión potencial de las

escorias de acería, la prueba consiste en medir la expansión de las muestras compactadas siguiendo los procedimientos de la norma ASTM D1883. Para acelerar la hidratación estos especímenes son hidratados en una cubeta con agua que mantendrá la temperatura constante a 70 ± 3 °C por un periodo de 7 días, tomando lecturas diarias el cálculo se graficará mediante la fórmula:

$$\frac{(L_{\text{inicial}} - L_{\text{final}}) \times 100}{L_{\text{inicial}}} = \% \text{ Expansión}$$

L_{inicial} = Lectura inicial
 L_{final} = Lectura final

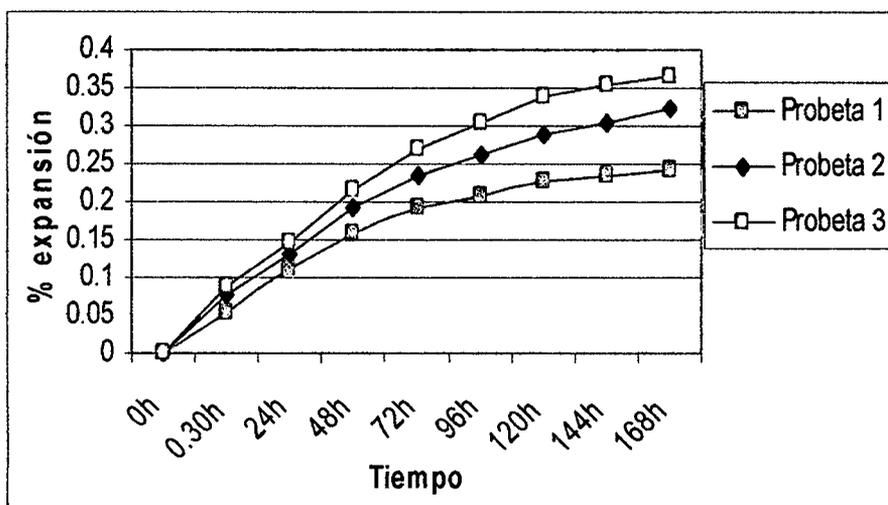


Fig. N° 03 Expansión Volumétrica ASTM D4792

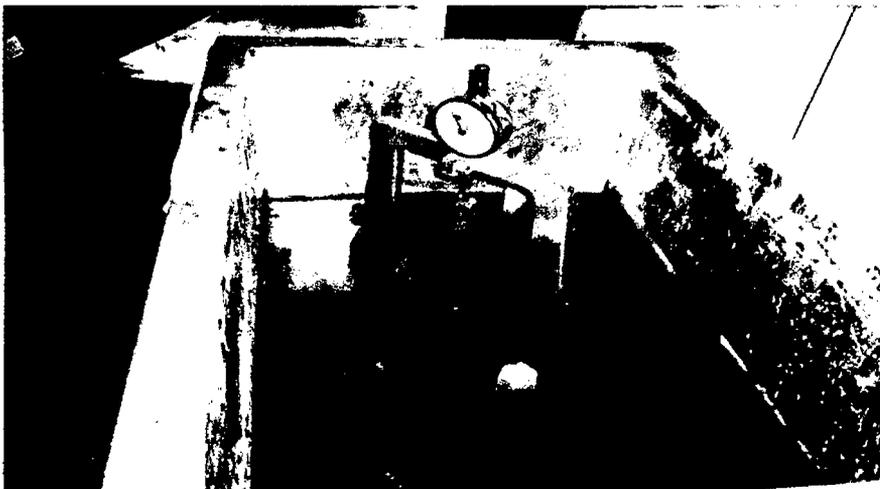


Fig. N° 04 Prueba de expansión volumétrica a ± 70 °C

2.2.11 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE ESCORIA DE ACERÍA EN PROYECTOS VIALES.

2.2.11.1.- DESVENTAJAS

Su alto valor de peso unitario en estado suelto (mayor a 1900Kg/m^3) y al ser compactada como mezcla asfáltica (cercano a los 300 Kg/m^3) pueden incidir en el costo adicional en el transporte y en el valor de mezcla asfáltica por m^3 .

Algunos contratistas han esgrimido que por provenir del acero, ocasiona un desgaste más rápido de los elementos de trabajo, esto no ha sido tomado en cuenta ya que no se ha registrado esta diferencia.

2.2.11.2 VENTAJAS

EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

El uso de escoria en mezclas asfálticas, brinda a los pavimentos características que mejoran su desempeño con respecto a los elaborados con agregados tradicionales algunas de estas son:

- Permanencia en el color de la mezcla a través del tiempo, lo cual garantiza mejor visibilidad de la señalización horizontal.
- La característica de mayor retención de la temperatura de la mezcla (mejor tasa de enfriamiento) significa que pueden lograrse mezclas con menor temperatura inicial en el caso de grandes distancias de acarreo. Esta propiedad también ayuda en la trabajabilidad de la mezcla durante su colocación, ya que se alarga los periodos de compactación.

- Estabilidad Marshall elevada, presentando menores posibilidades de fallas por ahuellamiento.
- Excelentes propiedades de afinidad con el cemento asfáltico, lo cual significa muy poca "denudación de la mezcla" ante los efectos del clima y tráfico.

EN TRATAMIENTOS SUPERFICIALES:

La escoria presenta excelentes propiedades en su empleo como tratamiento superficial, entre estas:

- Su alto y permanente valor de coeficiente de roce, proporciona mayor agarre entre el pavimento y los neumáticos de los vehículos, es decir menor posibilidad de patinaje.
- La permanencia del color oscuro, significa mayor visibilidad de la demarcación horizontal.
- Excelente afinidad hacia el asfalto, es decir su excelente adherencia, no se desprende de la superficie del tratamiento ante el efecto del tráfico.
- Compatibilidad con cualquier tipo de asfalto, desde los cementos asfálticos hasta las emulsiones.
- Alta resistencia al pulimento, lo que garantiza también que se mantiene la forma irregular y la textura áspera de las partículas, con su beneficio adicional sobre la buena adherencia.

EN BASES GRANULARES

La escoria de acería conforma el mejor agregado que pueda ser utilizado en la construcción de bases granulares, ya sea en mezclas 100% escoria o en mezclas con polvillo de cantera o arena, debido a:

- Bajo costo comparado con cualquier otro material pétreo de la zona.
- Excelente valor de CBR (150%-300% en la escoria contra 85%-100% en los agregados pétreos tradicionales) proporcionando mayor durabilidad ante la misma intensidad de cargas y espesor de construcción o la posibilidad de reducir el espesor de la capa de base.
- Permanencia de la estabilidad de la base granular, debido a la mayor resistencia mecánica de la escoria.
- Mejor comportamiento ante el efecto del agua, debido a la inexistencia de fracción fina plástica en las escorias.
- Reducción de los espesores de pavimentos asfálticos requeridos sobre una capa base de escoria.

2.2.12.- DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

2.2.12.1.-GENERALIDADES

Dan origen a las llamadas Carpetas Asfálticas, el espesor es generalmente mayor a 2". Las capas formadas por las mezclas bituminosas no deben tener espesores menores a 1", se recomienda

5" como espesor máximo. El árido debe ser de buena calidad y está conformado por piedra y arena a los mismos que se les debe hacer la prueba de abrasión y de durabilidad. Los porcentajes de desgaste deben ser como máximo de 30 a 40% ya que de lo contrario no es un material aceptable.

Se recomienda agregar el agregado grueso hasta el 50 % de tamaño de lo que sería el espesor de la capa asfáltica, Ejemplo, si la superficie de rodadura es de 3", se usará piedra con tamaño máximo de 1 1/2". Las granulometrías pueden tener valores máximos y mínimos, siendo el promedio lo ideal.

2.2.12.2.-PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Se lleva el árido a una planta que a través de una faja transportadora hace que se produzcan el mezclado con el asfalto calentado. Así se produce el efecto de mezclado entre piedra, arena y asfalto, material que es trasladado a obra a través de camiones donde se esparce con una pavimentadora y se les somete a proceso de rodillado para dar la compactación y el acabado final de los trabajos de asfaltado. Deben efectuarse estudios de los agregados a utilizar, determinando su granulometría a fin de utilizar los recomendados según el tipo de mezcla asfáltica requerida (Curvas Granulométricas).

2.2.13.- TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA

2.2.13.1.-MEZCLA ASFÁLTICA EN FRIO

Se determina así las mezclas en las cuales se utiliza como material aglutinante asfalto fluidificados, emulsiones asfálticas o alquitranes

que se mezclan con agregados a temperatura ambiente y cuya distribución y apisonado se hace temperatura ambiente.

El aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante.

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRIO

**mezcla asfáltica = árido + ligante
(piedra + arena + asfalto diluido)**

2.2.13.2.-MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

En una mezcla asfáltica de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla, ellos son el Método Marshall y el Método Hveem. Cada método contiene características y ventajas singulares y cualquiera puede ser usado con resultados satisfactorios.

Dentro de aglomerados bituminosos, las mezclas asfálticas en caliente, constituyen el tipo mejor de ellos y se pueden definir las como la combinación de áridos uniformemente mezclados y cubiertos con betún asfáltico. Para secar los áridos y lograr la suficiente fluidez del betún asfáltico, se usa el calor y por ello es que se conocen con esta denominación. Los áridos y el betún asfáltico se combinan en una instalación mezcladora central, en la cual todos los constitutivos son calentados y mezclados. Terminada esta fase se procede al traslado de la mezcla caliente al lugar de utilización y las operaciones de

esparcido y compactación, se hace también cuando esta a temperaturas altas.

Las especificaciones para la mezcla, la colocación, la densidad final y la exactitud del acabado de las superficies son de lo más exigentes.

Normalmente en este clase de mezclas se usan los betunes asfálticos y para elegir el grado de penetración se puede emplear la tabla del instituto del asfalto.

Tipo de Transito	Temperatura Ambientales		
	Alta	Media	Baja
liviano	70-85	70-85	70-85
mediano	60-70	70-85	70-85
pesado	50-60	60-70	60-70

Tabla N° 07 Grados de Penetración de Betunes Asfálticos para Mezcla en Caliente

MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Mezcla asfáltica = áridos + ligante

(Piedra + arena + filler + cemento asfáltico).

FILLER.- Es un agregado fino que viene a ser un "Rellenador Mineral" que es lo que falta al árido para cerrar su granulometría. También se utiliza el "polvo mineral". Es recomendable que pase el 100% de la malla N° 40 y 50% de malla N° 200; pueden ser cemento pórtland, cal ó cualquier material fino plástico que cumpla con los requisitos que exige la mezcla asfáltica.

2.2.14.- COMPOSICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA

2.2.14.1.- CEMENTO ASFÁLTICO

La misión del bitumen es ligar las partículas del árido para alcanzar la

resistencia de la mezcla. Aunque la resistencia principal se obtiene por el encaje de los elementos del árido, el betún, cubriendo de manera uniforme sus partículas, une estas entre sí, impermeabilizando la mezcla, más o menos según sus huecos y aumenta considerablemente su resistencia. En la sección de rotura de un concreto asfáltico de composición cerrada bien dosificado de la masa. La resistencia a rotura es mucho más elevada, a igualdad de composición granulométrica, en un concreto con la proporción correcta de betún, que cuando esta es escasa o excesiva; en el primer caso la mezcla puede agrietarse o disgregarse; si sobra betún la mezcla resulta plástico y por la acción de las cargas puede deformarse.

En conglomerado abierto se puede emplear asfaltos fluidificados, emulsiones, betunes de destilación o natural y alquitranes; en los fluidificantes y los alquitranes se calientan los tipos de alta viscosidad; los betunes de destilación y naturales se calientan siempre; en las emulsiones puede ser preciso calentar las de alta concentración (más del 60% de betún); las normales se emplean en frío.

2.2.14.2.- AGREGADO MINERAL

Estas mezclas se emplean en carreteras de tráfico intenso, por ello debe utilizarse piedra y arena de buena calidad. Como en el costo total de la mezcla influye mucho el del árido, por razones económicas deben examinarse previamente las posibilidades locales; se debe tener en cuenta, además de la calidad de piedra y arena, la posibilidad de explotación de la cantera volumen disponible y dificultades de obtención. El equipo para la preparación de estas mezclas es muy costoso y hay que lograr de ellos el máximo

rendimiento, y si el abastecimiento del árido no es el preciso, se tiene el peligro de no utilizar la organización debidamente y tener paralizado al personal empleado.

2.2.14.3.- EL FILLER

El filler incluye polvo de piedra caliza, de pizarra, de roca de sílices, sedimentos naturales, cemento portland, cenizas, etc. Su función es de llenar los vacíos que quedan entre los materiales gruesos y finos. Esta fracción tiene mayor importancia en las mezclas asfálticas en caliente.

Filler recomendado es de origen calizo, en cemento portland es excelente. Un filler debe caracterizarse por su naturaleza mineralógica, peso específico real, porcentaje de huecos compactado en seco, pero específico aparente en benceno (medida indirecta de la finura), granulometría de los tamaños superiores a 0.074mm.

2.2.15.- CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE MEZCLA ASFÁLTICA

El análisis de una muestra de mezcla en el laboratorio para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento, está enfocado hacia tres características y la influencia que puedan tener en su comportamiento. Densidad de la mezcla. Vacíos en el agregado mineral. Contenido de asfalto.

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia seis características de la mezcla, y la influencia

que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las seis características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto
- Estabilidad
- Fluencia

2.2.15.1.- DENSIDAD DE MEZCLA ASFÁLTICA

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante para el inspector debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/ft^3).

La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ($1,000 \text{ kg/m}^3$ o 62.416 lb/ft^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtiene usando los métodos normalizados de compactación del laboratorio.

2.2.15.2.- VACIOS DEL AIRE (SIMPLEMENTE VACÍOS)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla.

Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados, entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos, preferiblemente menos del 8 por ciento.

2.2.15.3.- ANÁLISIS DE VMA Y VFA VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)

Los vacios en el agregado mineral, estan definidos por el espacio inter granular de vacios que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacios de aire y el contenido efectivo de asfalto y se expresan como un porcentaje del volumen de la mezcla. El VMA es calculado en base al peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. El VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

TAMAÑO MÁXIMO En mm. Porcentaje		VMA MINIMO, POR CIENTO Vacios de Diseño, por ciento 3		
mm	In.	3.0	4.0	5.0
1.18	N° 16	21.5	22.5	23.5
2.36	N° 8	19.0	20.0	21.0
4.75	N° 4	16.0	17.0	18.0
9.50	3/8	14.0	15.0	16.0
12.50	1/2	13.0	14.0	15.0
19.00	3/4	12.0	13.0	14.0
25.00	1.0	11.0	12.0	13.0
37.50	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

Tabla N° 08 Vacios En Agregado Mineral

- Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASSTO M 92)
- El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene. Más de 10 % de material.

- Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que Están citados.

2.2.15.4.- VACIOS LLENOS DE ASFALTO (VFA)

El VFA (vacíos llenos de asfalto) son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, luego dividiendo por el VMA y expresando el valor final como un porcentaje.

2.2.15.5.- CONTENIDO DE ASFALTO

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de un diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro tu lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral pueden absorber, literalmente, gran parte del contenido de asfalto resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (humedad). Cualquier variación en el contenido de relleno menor le causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, se debe efectuar un muestreo más pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) de agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total del asfalto y contenido efectivo de asfalto.

CONTENIDO TOTAL DE ASFALTO:

Es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la misma.

CONTENIDO EFECTIVO DE ASFALTO:

Es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. Se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

2.2.16.- PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben obtener las siguientes características:

2.2.16.1.- RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE

La resistencia a la deformación permanente es crítica al elevarse la temperatura durante los meses de verano cuando la viscosidad del cemento asfáltico baja y la carga del tráfico es soportada por la estructura del agregado en mayor proporción. La resistencia a la deformación permanente se controla seleccionando la calidad de agregados con gradación apropiada y seleccionando los contenidos asfálticos y vacíos adecuados para la mezcla.

2.2.16.2.- RESISTENCIA A LA FATIGA

La mezcla no se agrietará por causa de la repetición de las cargas en un período de tiempo (período de diseño)

2.2.16.3.- RESISTENCIA AL AGRIETAMIENTO POR BAJAS TEMPERATURAS

Esta propiedad es importante en regiones frías que experimentan

bajas temperaturas. Sin embargo, para ello se utilizan aditivos diversos.

2.2.16.4.- RESISTENCIA A LA FATIGA

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Los vacíos relacionados con el contenido de asfalto y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga.

2.2.16.5.- RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.

2.2.16.6.- DURABILIDAD

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto. La mezcla contiene suficiente cemento asfáltico asegurando un adecuada espesor de película rodeando las partículas de agregados, así se minimiza el endurecimiento del cemento asfáltico.

El curando durante la producción y la puesta en servicio también contribuye a esta característica. Por otro lado, la mezcla compactada no debería tener altos porcentajes de vacíos que aceleren el proceso de curado.

2.2.16.7.- RESISTENCIA A LA HUMEDAD

Algunas mezclas expuestas a humedad pierden adhesión entre el agregado y el cemento asfáltico. Las propiedades de los agregados son los primeros responsables de este fenómeno, aunque algunos cementos asfálticos son más propensos a separarse que otros.

2.2.16.8.- RESISTENCIA AL PATINAJE

Este requisito es solamente aplicable a mezclas superficiales que sean diseñados para proporcionar la suficiente resistencia al patinaje.

2.2.16.9.- TRABAJABILIDAD

Es la facilidad con que una mezcla puede ser colocada y compactada. Las mezclas gruesas tienen tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar.

2.2.16.10.- ESTABILIDAD

Es la capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Depende de la fricción y de la cohesión interna.

2.2.16.11.- FLEXIBILIDAD

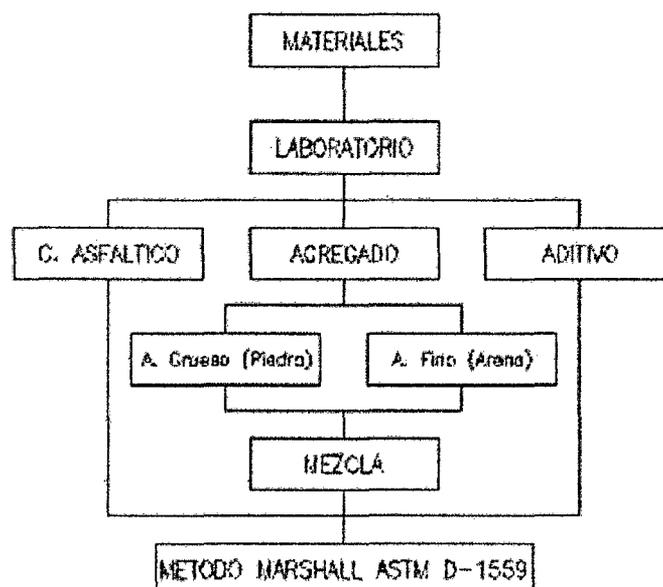
Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante.

2.2.17.- DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

En una mezcla asfáltica de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfalto y agregado en una mezcla, ellos son el Método Marshall y el Método Hveem.

2.2.17.1.- CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (DISEÑO TEÓRICO)



2.2.17.2.- MÉTODO HVEEM. (AASHTO T246)

2.2.17.2.1.- ANTECEDENTES

Los conceptos del método Hveem de diseño de mezcla de pavimentos fueron desarrollados en 1940 por Francis N. Hveem, ingeniero de materiales e investigación con la división de carreteras de California.

Este método de Hveem para proyecto y comprobación de mezclas asfálticas comprende: Ensayo del Estabilometro, Ensayo de Cohesiometro y Ensayo del equivalente Centrifugo en Keroseno (CKE).

Estos ensayos se emplean para proyectar mezcla en el laboratorio. El CKE se emplea también como ensayo de obra. Los ensayos del Estabilometro y del Cohesiometro son aplicables a mezclas que contengan betún asfáltico o asfaltos líquidos y áridos cuyo tamaño máximo no excede de 1".

2.2.17.2.2.- PROPÓSITO

Determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. También provee información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica. Solo se aplica a mezcla asfáltica en caliente que usan betún asfáltico clasificado por viscosidad o penetración y que contiene agregados con tamaño máximo de 1".

2.2.17.3.- MÉTODO MARSHALL (ASSHTO T245)

2.2.17.3.1.- ANTECEDENTES

El Método Marshall para el diseño de mezclas fue desarrollado por Bruce Marshall, del Mississippi Highway Department alrededor de 1939. El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por The Corps of Engineers Waterways (WES) de los Estados Unidos en 1943.

Este método fue normalizado por la ASTM D-1559, denominado Resistencia al Flujo Plástico de Mezcla Bituminosa usando el equipo

Marshall (el método AASHTO T-245 es similar a la Norma ASTM D-1559, excepto en lo referente al martillo operado mecánicamente, en lugar de un martillo operado manualmente), sin embargo, actualmente la norma ASTM D-1559 ha sido reemplazado por otro procedimiento denominado Superpave.

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en la combinación uniforme de agregados con cemento asfáltico. El Concreto Asfáltico es un tipo de mezcla en caliente que cumple con estrictos requisitos de control de calidad, resultando una carpeta de alta calidad, con buena calidad de agregados y bien compactada.

2.2.17.3.2.- FUNDAMENTO TEÓRICO PARA DISEÑO DE MEZCLA

El contenido óptimo de asfalto para un material de carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, de espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo evitando que el asfalto se oxide con rapidez. Por otro lado, no debe ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad, es decir, deformación excesiva por flujo plástico o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

OBJETIVO

Determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados.

El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

2.2.17.4.- PROCEDIMIENTO DE MÉTODO DE MARSHALL (ASTM D-1559)

PASO A: EVALUACIÓN DE AGREGADOS

A.1.- Realice los ensayos de abrasión en la Máquina de Los Ángeles, resistencia a los sulfatos, equivalente de arena, presencia de sustancias deletéreas, caras de fractura y partículas alargadas.

A.2.- Si el agregado pasó los controles de calidad del paso A.1, se debe realizar la combinación de agregados, gravedad específica y absorción. El diseño de mezcla debe proporcionar la granulometría que se encuentra dentro de los rangos de diseño.

A.3.- Gravedad específica bulk del agregado grueso (AASHTO T85 o ASTM C127) y del agregado fino (AASHTO T84 o ASTM C128). Calcule la gravedad específica de la combinación de agregados.

PASO B: EVALUACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

B.1.- Determine el grado apropiado de cemento asfáltico a emplear, según el tipo y ubicación geográfica del proyecto, verificar que las propiedades especificadas sean aceptables.

B.2.- Calcular la gravedad específica del cemento asfáltico (AASHTO T228 o ASTM D70) y del filler (AASHTO T100 o ASTM D854) y grafique la viscosidad versus temperatura (Carta de Viscosidad)

B.3.- Determinar la temperatura de mezcla y compactación de la Carta de Viscosidad.

B.3.1.- La temperatura a la cual se calentará el cemento asfáltico para la mezcla, se selecciona en el rango de la viscosidad de 170 ± 20 centistokes (1 centistoke = $1 \text{ mm}^2/\text{s}$).

B.3.2.- La temperatura de compactación se encuentra en el rango de la viscosidad de 280 ± 30 centistokes.

PASO C: PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES MARSHALL

C.1.- Secar los agregados hasta obtener peso constante entre 105°C y 110°C , separarlos por tamizado en las mallas sugeridas:

1" a $\frac{3}{4}$ "

$\frac{3}{4}$ " a $\frac{3}{8}$ "

$\frac{3}{8}$ " a N°4

N°4 a N°8

Pasa N°8

Fijada la composición en tanto por ciento de cada árido para obtener la granulometría total de la mezcla que se desea, se calcula el peso necesario de cada uno de ellos para realizar el amasado de 18 especímenes, aproximadamente 1150 gr. en cada uno, un total de 22 kg y un galón de cemento asfáltico.

C.2.- Pese los agregados para cada espécimen por separado y caliéntelos a la temperatura de mezcla, según paso B.4. El peso total de agregado se determinará en el paso C.3.

C.3.- Generalmente se prepara un espécimen de prueba, mida la altura del mismo (h_1) y verifique la altura requerida del espécimen Marshall: $63.5 \pm 5.1 \text{ mm}$ ($2.5 \pm 0.20 \text{ pulg.}$). Si el espécimen está fuera del rango, ajuste la cantidad de agregados con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{h}{h_1} \times 1150 \text{ gr}$$

Dónde:

Q Peso del agregado para un espécimen de 63.5 mm (2.5 pulg.) de altura, gr.

h Altura requerida, que será 63.5 mm ó 2.5 pulg.

h1 Altura del espécimen de prueba, mm (pulg)

C.4.- Calentar a la temperatura de mezcla la suficiente cantidad de asfalto para preparar 18 especímenes; tres especímenes compactados por cada porcentaje de contenido de asfalto, los incrementos porcentuales de asfalto son de 0.5% con por lo menos dos contenidos antes y después del Optimo Contenido de Asfalto. A tres mezclas cerca al óptimo contenido de humedad se les mide la gravedad específica Rice o Máxima Densidad Teórica (TMD). (Nota.- algunas agencias en los Estados Unidos solicitan gravedades específicas Rice para todos los contenidos de asfalto. A pesar de todo, la precisión del ensayo es mejor cuando la mezcla está cerca del óptimo contenido de asfalto. Es preferible medir la gravedad específica Rice por triplicado. Luego de promediar los resultados de los tres ensayos, y calcular la gravedad específica efectiva de los agregados, la máxima gravedad específica para todos los contenidos de asfalto se calculan usando las fórmulas sencillas ya explicadas).

Nota.- No mantener el ligante por más de una hora a la temperatura de mezcla ni emplear ligante bituminoso recalentado. Durante el período de calentamiento del ligante se debe agitar frecuentemente dentro del recipiente para evitar los sobrecalentamientos.

C.5.- De acuerdo a las especificaciones se determina el número de golpes por cara para la compactación Marshall.

C.6.- El recipiente en el que se realizará la mezcla será manchado con una mezcla de prueba para evitar la pérdida de ligante y finos adheridos al recipiente, se limpiará solamente arrastrando con una espátula todo el material posible. Colocar la cantidad de agregado requerido en esa vasija y añada la cantidad de asfalto caliente necesaria por peso, para el porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla deseada.

$$\% \text{Cemento asfáltico} = \frac{\text{Peso cemento asfáltico}}{\text{Peso árido} + \text{Peso cemento asfáltico}} \quad \text{C.7.-}$$

Mezclar

el cemento asfáltico y agregado hasta que éstos estén totalmente cubiertos. La mezcla puede hacerse manual o mecánicamente. Cuando la mezcla requiera filler, éste se agregará luego que los agregados estén cubiertos por el ligante.

C.8 Verificar la temperatura de los materiales recién mezclados, si está sobre la temperatura de compactación, deje enfriar; si está por debajo, elimine el material y prepare una nueva muestra.

C.9.- Se coloca dentro del conjunto del molde y la base del martillo compactador limpios, un disco de papel filtrante de 10 cm de diámetro. Se calientan en el horno o en un baño de agua a una temperatura comprendida entre los 93° a 149°C. Verter la mezcla y emparejarla con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Limpiar el material del collar y montura dentro del molde de tal manera que el medio sea ligeramente más alto que los bordes. Fijar el molde y base en el pedestal. Coloque el martillo precalentado dentro del molde, y aplique el número de golpes según las especificaciones, la altura de caída del martillo es de 18" (457 mm).

Mantener el eje del martillo de compactación perpendicular a la base del molde durante la compactación.

C.10.- Retire el molde de la base. Coloque un papel filtrante en la superficie e inviértalo de tal manera que la cara superficial se encuentre abajo. Reemplace el collar del molde y fíjelo junto con la base en el pedestal. Aplicar el número de golpes especificados.

C.11.- Después de la compactación remover la base y colocar el molde y collar sobre el extractor de muestras. Con el molde y el collar de extensión hacia arriba en la máquina de ensayo, aplicar presión y forzar el espécimen dentro del collar de extensión, levantar el collar del espécimen. Cuidadosamente transferir el espécimen a una superficie plana, dejarlo de pie para que repose de 12 a 24 horas a temperatura ambiente, identificarlos con códigos alfanuméricos usando Crayolas.

C.12 Determine la gravedad específica bulk de cada espécimen tan pronto como las probetas compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, según AASHTO T166. Se determina calculando la relación entre su peso al aire y su volumen.

PESAR EL ESPÉCIMEN AL AIRE; Y

- Sumerja la muestra en agua, dejar saturar por unos minutos, pesar la muestra en su condición saturada superficialmente seca (SSD) en el agua.
- Sacar la muestra del agua, secar el exceso de agua y pesar en su condición SSD en el aire
- Calcular el volumen restando el peso del espécimen SSD en el aire y el peso del espécimen SSD sumergida. La fórmula empleada será:

Dónde:
$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{sub}}$$

Gmb Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada

WD Peso del espécimen al aire

WSSD Peso del espécimen en su condición SSD en el aire

Wsub Peso del espécimen sumergido

Se determina el peso específico bulk promedio de todas las probetas hechas con el mismo contenido asfáltico. Los valores dispares no se incluyen en el cálculo para lo cual se tendrá en cuenta el siguiente rango de variación con respecto al valor medio

Peso.Específico Bulk \pm 1%

Los valores calculados del peso específico bulk, así ensayados, dan resultados más reales, pero existe otro procedimiento de laboratorio que cabe destacar, es el que podemos encontrar en las nuevas normas emitidas por el ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

El primer método.- se emplea cuando la textura superficial de las probetas es cerrada e impermeable. El volumen de la probeta se obtiene restando el peso de la probeta en el aire y el peso de la probeta sumergida en agua sin haber recubierto su superficie parafinada. La fórmula empleada será:

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_D - W_{sub}}$$

Dónde:

Gmb Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada
 WD Peso del espécimen al aire
 Wsub Peso del espécimen sumergido

El segundo método.- se aplica a mezclas cuya superficie es abierta y permeable. El volumen aparente se determina restando el peso de la probeta en el aire y el peso de la probeta en el agua pero habiéndola recubierto previamente de una capa de parafina. El peso específico bulk viene dado por la fórmula:

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{pD} - W_{ppsub} - \frac{W_{pD} - W_D}{\gamma_p}}$$

Dónde:

Gmb	Gravedad Específica Bulk de la muestra compactada
WD	Peso del espécimen al aire
WpD	Peso del espécimen parafinado en al aire
Wppsub	Peso del espécimen parafinado en el agua
yp	Peso específico de la parafina

Los especímenes deben pesarse antes de ser parafinados, a continuación se sumergen en un recipiente con parafina caliente. Si es necesario, se da pinceladas de parafina en los puntos mal cubiertos. Dejar enfriar la parafina durante media hora y determinar el peso en el aire a la temperatura ambiente e inmediatamente se pesa en agua³.

C.13.- Calcule la gravedad específica Rice en las mezclas asfálticas en caliente (Gmm) de acuerdo a la norma AASHTO T209, su valor se emplea en el cálculo de los vacíos. Si la mezcla contiene agregados absorbentes se recomienda colocarla en el horno (manteniéndola a la temperatura de mezcla) por cuatro horas de tal manera que el cemento asfáltico sea absorbido completamente por el agregado antes del ensayo. Mantener la mezcla en un recipiente tapado mientras se encuentra en el horno. Si el ensayo se hace por triplicado en la mezcla que contiene un porcentaje cerca al óptimo contenido de asfalto, promediar los tres resultados; calcule la gravedad específica efectiva de los agregados.

Si se realiza el cálculo de la gravedad específica Rice en cada una de las muestras a diferentes contenidos de asfalto, calcular la gravedad específica efectiva de agregados en cada caso. Calcule el promedio de las gravedades específicas efectivas y el promedio de las gravedades específicas Rice.

ST

En ausencia de datos proporcionados por el Método Rice, la gravedad específica puede calcularse con una relación matemática que considera las gravedades específicas bulk y aparente de los Componentes de la mezcla:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{\% \text{asfalto}}{G_{sa \text{asfalto}}} + \frac{\% \text{grueso}}{A} + \frac{\% \text{fino}}{B} + \frac{\% \text{filler}}{C}}$$

Siendo:

$$A = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado grueso}$$

$$B = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el agregado fino}$$

$$C = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad , \text{ para el filler}$$

Donde:

G_{sb} Gravedad específica bulk

G_{sa} Gravedad específica aparente

PASO D: DENSIDAD Y VACÍOS DE LOS ESPECÍMENES:

Se refiere a las relaciones peso-volumen, completando los cálculos con los siguientes pasos:

D.1.- Para cada espécimen, use la gravedad específica bulk (G_{mb}) del paso C.12 y gravedad específica Rice de la mezcla (G_{mm}) para C.13. Calcular el porcentaje de vacíos en el total de la mezcla, VTM.

$$VTM = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100$$

D.2.- Calcular la densidad de cada espécimen Marshall como sigue:

$$\text{Densidad (g/cm}^3\text{)} = G_{mb} \times \delta_w$$

D.3.- Calcule el porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA, para cada espécimen Marshall usando la gravedad específica bulk en los agregados (G_{sb}) para los pasos A.2, la gravedad específica bulk de la mezcla compactada (G_{mb}) para el paso C.12, y el contenido de asfalto por peso de mezcla total (P_b)

$$VMA = \left(1 - \frac{G_{mb}(1 - P_b)}{G_{sb}} \right) \times 100$$

D.4.- Calcule el porcentaje de vacíos llenos de asfalto para cada espécimen Marshall usando el VTM y VMA como sigue:

$$VFA = \left(\frac{VMA - VTM}{VMA} \right) \times 100$$

PASO E: ESTABILIDAD MARSHALL Y ENSAYO DE FLUJO

E.1.- Calentar el agua del baño a 140°F (60°C) y colocar los especímenes a ser ensayados por un período de 30 a 40 minutos. Los especímenes se ubicarán de manera escalonada para que todos los especímenes sean calentados el tiempo especificado antes de ser ensayados.

E.2.- Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas de rotura y se engrasan las barras guía con una película de aceite de manera que las mordaza superior se deslice libremente. Luego de calentarlos el tiempo necesario, se irán sacando uno a la vez, quitarles el exceso de agua con una toalla y colocarlo rápidamente en la mordaza Marshall.

E.3.- Colocar el medidor de flujo sobre la barra guía marcada y compruebe la lectura inicial. Aplicar la carga a una velocidad de deformación de 2 pulg/min (50.8 mm/minuto) hasta que ocurra la falla, es decir cuando se alcanza la máxima carga y luego disminuye según se lea en el dial respectivo. El punto de rotura se define como la carga máxima obtenida y se registra como el valor de estabilidad Marshall, expresado en Newtons (lb). Mientras se está determinando la estabilidad se mantiene firmemente el medidor de deformación en su posición sobre la barra guía; libérese cuando comience a decrecer la carga y anote la lectura. Este será el valor del "flujo" para la muestra expresado en centésimas de pulgada. Por ejemplo si la muestra se deformó 3.8 mm (0.15") el valor de flujo será de 15. Este valor expresa la disminución de diámetro que sufre la probeta entre la carga cero y el instante de la rotura. Flujo en 0.01 pulgadas (0.25 mm). El ensayo se realiza en un minuto contado desde que se saca el espécimen del baño.

E.4.- Repita los pasos E.2 y E.3 hasta que todos los especímenes sean ensayados.

E.4.1.- El tiempo total transcurrido entre sacar el espécimen del baño y aplicar la carga es de 60 segundos como máximo.

E.4.2.- El tiempo total en el agua de baño para cada juego de tres especímenes es entre 30 a 40 minutos.

PASO F: TABULACIÓN Y GRÁFICO DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO

F.1.- Tabule los resultados de ensayo, corrija los valores de estabilidad para cada espécimen (ASTM D1559), y calcule el promedio de cada tres juegos de especímenes.

F.2 Grafique:

1. Contenido de asfalto Vs. Densidad (por unidad de peso)
2. Contenido de asfalto Vs. Estabilidad Marshall
3. Contenido de asfalto Vs. Flujo
4. Contenido de asfalto Vs. Porcentaje de vacíos, VTM
5. Contenido de asfalto Vs. Porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA
6. Contenido de asfalto Vs. Porcentaje de vacíos lleno de asfalto, VFA

F.3.- Revise la tendencia de cada gráfico:

F.3.1.- La estabilidad versus el contenido de asfalto puede tener dos tendencias:

F.3.1.1.- La estabilidad crece a medida que el contenido de asfalto se aumenta, alcanza un pico y luego decrecer.

F.3.1.2.- La estabilidad decrece a medida que el contenido de asfalto se aumenta y no presenta un pico. Esta curva es común en mezclas asfálticas en caliente recicladas.

F.3.2.- El flujo crece con el incremento del contenido de asfalto.

F.3.3.- La densidad crece con el incremento de asfalto, alcanzo un pico, y luego decrece. La densidad pico usualmente ocurre a un contenido de asfalto mayor que la estabilidad pico.

F.3.4.- El porcentaje de vacíos de aire decrecerá con el crecimiento del contenido de asfalto.

F.3.5.- El porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA, decrece con el crecimiento del contenido de cemento asfáltico, alcanza un mínimo, y luego crece.

F.3.6.- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA, crece con el incremento de asfalto.

PASO G: DETERMINACIÓN DEL OPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO

G.1 Los siguientes dos métodos son comúnmente empleados para determinar el óptimo contenido de asfalto Gde los gráficos:

MÉTODO 1.- EL PROCEDIMIENTO NAPA, EN TAS 14

1. Determine el contenido de asfalto correspondiente a la medida especificada del contenido de vacíos (4% típicamente). Este es el óptimo contenido de asfalto.
2. Determine las siguientes propiedades en el óptimo contenido de asfalto de los gráficos:
 - 2.1 Estabilidad Marshall
 - 2.2 Flujo
 - 2.3 Porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA
 - 2.4 Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA
3. Compare cada uno de estos valores de especímenes y si todos tiene el rango especificado, entonces el óptimo contenido de asfalto determinado es satisfactorio. Si algunas de estas propiedades está fuera del rango de especificaciones, la mezcla debe ser rediseñada.

MÉTODO 2.- MÉTODO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO EN MS-2

1. Determine:
 - (a) contenido de asfalto en la estabilidad máxima
 - (b) contenido de asfalto en la densidad máxima
 - (c) contenido de asfalto en el punto medio del rango de volúmenes de aire especificado (4% típicamente)

2. Promediar los tres contenidos de asfaltos seleccionados

3. Para el promedio del contenido de asfalto, vea la curva planteada y determine las siguientes propiedades:
 - 3.1.- Estabilidad Marshall
 - 3.2.- Flujo
 - 3.3.- Porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA
 - 3.4.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto, VFA

- 4.- Comparar los valores del paso 3 con criterio para ser aceptado según el siguiente cuadro:

Criterio de Diseño Marshall para Superficies y Bases

Criterio Mezclas Método Marshall	Tráfico					
	Ligero		Medio		Pesado	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Compactación Nº golpes/cara	35		50		75	
Estabilidad, lb(N)	750 (333)		1200 (5333)		1800 (8000)	
Flujo 0.01 Pulg (0.25mm)	8	18	8	16	8	14
Vacios de aire, %	3	5	3	5	3	5
Vacios en el agregado mineral	Ver el gráfico siguiente					

Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types. The Asphalt Institute, MS-2, May 1984

Tabla N° 08 CRITERIOS DE DISEÑO MARSHALL

SI

2.2.18.- AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los agregados para mezcla asfáltica en caliente son usualmente clasificados por tamaños en agregado grueso, agregado finos, o filler mineral. ASTM define a los agregados gruesos como las partículas retenidas en la malla N° 4; y filler mineral como el material que pasa la malla N°200 en un porcentaje mínimo de 70%.

Las especificaciones de agregado grueso, fino y filler mineral se dan en ASTM D-692, D-1073 y D-242, respectivamente. Los agregados adecuados para su uso mezcla asfáltica en caliente se determina evaluación para las siguientes características mecánicas.

2.2.18.1.- TIPOS

2.2.18.1.1.- SEGÚN SU TAMAÑO

➤ AGREGADO FINOS

AGREGADO FINO - PASA MALLA N° 4	ESPECIFICACIÓN
Durabilidad (ASTM C-88)	Máx. 15.0%
Equivalente de Arena (ASTM D - 2419)	Máx. 40.0%
Absorción de agua (ASTM C-128)	Máx. 10.0%
Índice de Elasticidad (ASTM D - 1791)	Máx. 1.0%
Adherencia (M. Riedel Weber)	Mín. Grado 4

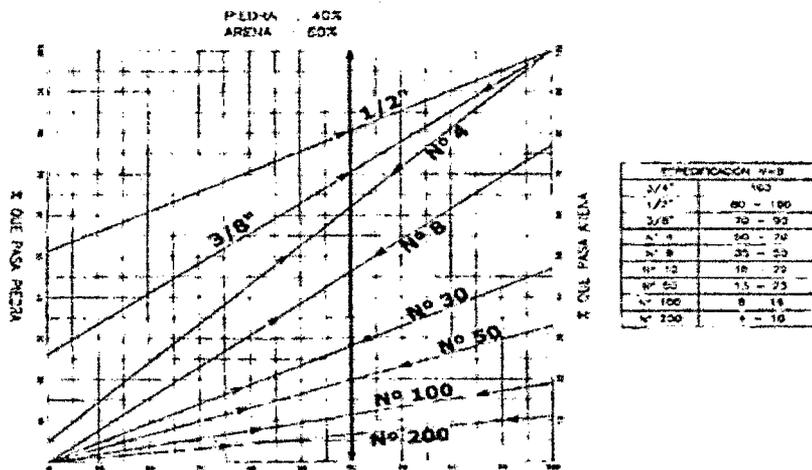
Tabla N° 09 Fracción del agregado que pasa el tamiz N° 4

➤ AGREGADO GRUESOS

AGREGADO GRUESO - RET. MALLA N° 4	ESPECIFICACIÓN
Durabilidad (ASTM C-88)	Máx. 12.0%
Abrasión (ASTM C - 131)	Máx. 10.0%
Partículas Chatas y Alargadas (ASTM D-1791)	Máx. 15.0%
Absorción de agua (ASTM C-128)	Máx. 1.0%
Adherencias (ASTM D - 1654)	Mín. -95.0%

Tabla N° 010 Fracción del agregado que es retenida en el tamiz N° 4

➤ Dosificación de agregados



2.2.19.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Los agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente son usualmente clasificados por tamaños en agregados gruesos, agregados finos, o filler mineral. ASTM define a los agregados gruesos como las partículas retenidas en la malla N°4 (4.75 mm); y filler mineral como el material que pasa la malla N°200 (75µm) en un porcentaje mínimo de 70%. Las especificaciones de agregados gruesos, finos, y filler mineral se dan en ASTM D-692, D-1073 y D-242, respectivamente. Los agregados adecuados para su uso en Mezclas Asfálticas en Caliente se determinan evaluándolos para las siguientes características mecánicas:

- Tamaño y gradación
- Limpieza / materiales deletéreos
- Tenacidad / dureza
- Durabilidad / resistencia
- Textura superficial
- Forma de partículas
- Absorción
- Afinidad por el asfalto

2.2.19.1.- LIMPIEZA.

El ensayo de equivalente de arena, desarrollado por la California División of Highways descrito en ASTM D – 2419 es un método para determinar la proporción relativa de polvo o arcilla en la porción de agregado que pasa la malla N°4.

2.2.19.2.- TENACIDAD Y RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Los agregados sufren desgaste abrasivo durante su construcción, colocación y compactación de mezclas asfálticas para pavimentos. Los agregados también están sujetos a abrasión por efecto de la carga de tránsito. Los agregados de la superficie requieren mayor tenacidad que los agregados de capas menores que reciben cargas disipadas.

El ensayo de abrasión de Los Ángeles mide el desgaste o resistencia a la abrasión del agregado mineral. El equipo y procedimiento se detallan en AASHTO T-96 y ASTM C-131.

El ensayo de prueba da rangos de 10% para rocas ígneas muy duras a 60% para calizas y areniscas. El máximo desgaste para agregados gruesos usados en carreteras de primera categoría con Mezclas Asfálticas en Caliente se limita el porcentaje de desgaste a 40% y otras agencias en 60%. ASTM D-1073 no especifica el porcentaje máximo de pérdida por abrasión.

2.2.19.3.- RESISTENCIA Y DURABILIDAD

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos de manipuleo y compactación en las etapas de construcción y ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el período de acción bajo el tráfico. Estos tienden a triturar y a degradar las partículas. La habilidad de un material para mantener su granulometría original ante

ellos, se define como resistencia.

El ensayo que se utiliza para medir la resistencia de los agregados a estos efectos y esfuerzos es el de Resistencia del agregado a la degradación por abrasión e impacto por medio de la máquina de los Ángeles.

Deben ser resistentes a la disgregabilidad, es decir a la acción química que produce la rotura y degradación de las partículas, lo cual normalmente sucede y acelera en la presencia de agua. El efecto de la disgregación es menos severo en mezclas asfálticas que en los agregados no tratados, ya que la película de ligante protege al agregado y minimiza el proceso. La durabilidad de los materiales se evalúa, por el ensayo de Desintegración de agregados utilizando sulfato de sodio o de magnesio, AASHTO T-104.

2.2.19.4.- FORMA DE LAS PARTÍCULAS

La estabilidad de las mezclas depende en un grado muy alto, de la trabazón de los agregados. Las mayores estabilidades se alcanzan cuando las partículas tienen forma cúbica u octaédrica, es decir "angular", debido a que oponen mayor resistencia a su desplazamiento ante el efecto de una carga. En las mezclas con granulometría continua la angularidad de las partículas finas es más importante que para la de las gruesas, debido al mayor número de puntos de contacto que logran la trabazón. Las partículas alargadas o planas son indeseables, ya que aún cuando resisten el manipuleo, tienden a romperse y degradarse bajo los efectos de la compactación y del tráfico; por esta razón las normas limita su contenido a porcentajes

bajos. Los agregados con partículas de forma redondeada son de más fácil compactación, con lo que se logran, aparentemente mayores zonas de contacto entre las mismas. Obteniéndose mayor estabilidad, pero debido a su forma, son muy susceptibles a "rodar" o desplazarse al ser sometidas al tráfico, es decir a largo plazo tienden a deformarse.

2.2.19.5.- TEXTURA SUPERFICIAL

Se considera que la textura superficial (rugosidad) de los agregados es el principal contribuyente en la resistencia de las mezclas asfálticas a su deformación (llamada estabilidad), debido a la fricción que se desarrolla entre las diversas partículas como consecuencia del grado de textura que presentan los granos.

La textura es más importante que la angularidad del agregado en la estabilidad de una mezcla, lo cual se atribuye a que entre las partículas, más que "puntos de contacto" existen "zonas de contacto" y por ello, mientras más rugosa es su superficie más difícil es el desplazamiento de una sobre otra. Adicionalmente, una superficie pulida presenta poca habilidad para mantener la película de asfalto adherida al agregado.

Cuando una grava se tritura, alcanza una mayor estabilidad, no sólo por la angularidad que se logra en las partículas, sino por la micro rugosidad que tienen las caras fracturadas.

2.2.19.6.- POROSIDAD

Se define como la propiedad de absorción de asfalto que tienen los agregados. Es conveniente que estos sean algo poroso, para que el asfalto "penetre" dentro de ellos y se adhiera mecánicamente a las partículas, lo cual ayuda a evitar el desplazamiento de las mismas ante el

efecto de las cargas, y a la pérdida de ella ante la presencia y efecto del agua.

Los agregado muy porosos, sin embargo, al absorber mucho asfalto, requieren contenidos muy elevados de ligante para mantener su contenido efectivo, lo cual puede resultar antieconómico.

2.2.19.7.- ADHERENCIA

Es la propiedad de un agregado para mantener sobre él la película de asfalto añadida. Depende no sólo del agregado, su textura y composición química, también en parte importante del asfalto en sí. Para que una mezcla sea durable, debe existir una buena adherencia entre el agregado y el asfalto, para que se evite la separación de la película de asfalto en presencia de agua. Los materiales hidrófobos, aquellos que repelen la humedad, son los que mejor adherencia tienen con el asfalto y son de naturaleza básica, como las calizas.

2.3 HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL:

H1: la viabilidad técnica del uso de la escoria de acería eléctrica como agregado es de calidad y viable para la mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote.

Ho: la viabilidad técnica del uso de la escoria de acería eléctrica como agregado no es de calidad y no es viable para la mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

- Con los ensayos realizados se determinó las Características de las escorias de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote.

- Con los procedimientos y especificaciones normalizadas se analizaron la viabilidad de la mezcla asfáltica con escorias de acería eléctrica en la ciudad de Chimbote.

2.4 VARIABLES DEL ESTUDIO.

2.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE: aplicación de escoria de acería eléctrica.

2.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE: mezcla asfáltica utilizando escoria de acería.

¿Cuál será la viabilidad técnica del uso de la escoria de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote – Ancash?

DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES.

VARIABLE	INDICADORES
viabilidad técnica del uso de la escoria de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica	Ensayo físico
	- Granulometría
	- Índice de Aplanamiento y Alargamiento
	- Equivalencia de arena y Agregado Finos
	Ensayo mecánico
	- Ensayo de Durabilidad ASTM C – 88
	- Ensayo de Abrasión ASTM C – 131
	- Porcentaje de caras Fracturadas en los Ángeles.
	- Proctor Modificado
	- Ensayo California Bearing Ratio
	- Ensayo de Expansión Volumétrica ASTM D4792
	Ensayo químico
	- Difracción de Rayos X
- Absorción Atómica (A.A)	
Ensayo de Mineralógica	
- Composición mineralógica de la escoria.	

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO:

Distrito : Chimbote

Provincia : Santa

Región : Ancash.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Según **Oseda, Dulio (2008:117)**, "El tipo de estudio de la presente investigación es Aplicada porque persigue fines de aplicación directos e inmediatos. Busca la aplicación sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías. Esta investigación busca conocer para hacer y para actuar".

3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN:

El nivel de investigación es el Descriptivo. Según Restituto Sierra Bravo (2002) "las investigaciones explicativas buscan especificar las propiedades importantes de los hechos y fenómenos que son sometidos a una experimentación de laboratorio o de campo".

3.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. MÉTODO GENERAL: En la presente investigación, se utilizó el Método Científico como método general. En la actualidad según **Cataldo, (1992:26)**: "El estudio del método científico es objeto de estudio de la epistemología. Asimismo, el significado de la palabra "método" ha variado. Ahora se le conoce como el conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar sus objetivos".

A decir de **Kerlinger, F., y otros (2002:124)** "el método científico comprende un conjunto de normas que regulan el proceso de cualquier investigación que merezca ser calificada como científica".

Además el mismo Kerlinger enfatiza "La aplicación del método científico al estudio de problemas pedagógicos da como resultado a la investigación científica".

3.4.2. MÉTODO ESPECÍFICO:

El Método Experimental. Según **Mayer, J. (2005:32)**: "El método experimental es un proceso lógico, sistemático que responde a la incógnita: ¿Si esto es dado bajo condiciones cuidadosamente controladas; qué sucederá?".

Asimismo se tomó en cuenta el uso del método estadístico. Según **Ary, Donald y otros (1993:76)** "Los métodos estadísticos describen los datos y características de la población o fenómeno en estudio. Esta nivel de Investigación responde a las preguntas: quién, qué, dónde, cuándo y cómo".

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño general viene a ser transversal Según **(Kerlinger, F. y otros, 2002:345)** "El diseño cuasi experimental, es aquel diseño donde solo se controla algunas fuentes que amenazan la validez interna. Se emplea por lo general en situaciones en las cuales es

difícil el control experimental riguroso. En el campo educacional y en el campo de las ciencias sociales, el investigador no puede realizar el control total sobre las condiciones experimentales. Son útiles en la investigación evaluativa o cuando se requiere realizar cambios de programas o materiales”.

Y el diseño específico es el de 03 grupos Esta estrategia tiene como bibliografía especializada la graficación que explicamos a continuación: **Hernández (2006:168)**

Muestra → Ensayo y Análisis → Resultado

3.6. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.6.1. La Población:

Según **Oseña, Dulio (2008:120)** “La población es el conjunto de individuos que comparten por lo menos una característica, sea una ciudadanía común, la calidad de ser miembros de una asociación voluntaria o de una raza, la matrícula en una misma universidad, o similares”.

En el caso de nuestra investigación, la población es todo el residuo de escorias de acerías que se existe el campo de reciclaje de la **EMPRESA DE SIDERPERU-CHIMBOTE**.

3.6.2. MUESTRA:

El mismo **Oseña, Dulio (2008:122)** menciona que “**la muestra es una parte pequeña de la población** o un subconjunto de **esta**, que sin embargo posee las principales características de aquella. Esta es la principal propiedad de la muestra (poseer las principales características de la población) la que hace posible que el

investigador, que trabaja con la muestra, generalice sus resultados a la población”.

Para nuestro caso se tomó una muestra de 120 kilos para todo los ensayos que se realizó, que fueron parte para la mezcla asfáltica.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.7.1. TÉCNICAS:

PROCESO DE LA ESCORIA Y TOMA DE MUESTRA

Para la ejecución del presente estudio, fue importante la toma de muestra de acuerdo con la norma NTP 339.089:1998 basada en la norma ASTM D 75, estableciendo todas las precauciones necesarias para la toma de muestra, era importante que esta no se altere o mezcle con otro material tomando una parte importante del proceso, esta muestra fue obtenida del proceso de la producción siderúrgica de una misma secuencia, es decir de un día en particular y a diferentes coladas, esta escoria se enfrió con chorros de agua provocando cambios térmicos bruscos y luego fue procesada para extraer la parte metálica.

Después de ser reciclada la muestra se almaceno formando una pila de aproximadamente 250 tonelada durante 6 meses. Con la ayuda de un cargador frontal se extrajo 120kg de muestra, utilizando el método del cuarteo en la pila después la muestra fue envasada en bolsas limpias de 40kg c/u y luego transportados al laboratorio de suelos para análisis químico, físico, mineralógica, mecánico y expansión Potencial por Reacciones de Hidratación.

3.7.2. LOS INSTRUMENTOS:

- **CARGADOR FRONTAL.-** Con esta maquinaria se extrajo el material de cantera para luego hacer toma de muestra de acuerdo a la norma NTP 339.089.1998 basada a norma ASTM D-75.

- **PICO Y PALANA.**- con esta herramientas manuales se toma la muestra luego se proceder hacer cuarteo del agregado para transportar a laboratorio muestra más representativa.
- **BOLSAS.**- la muestra más representativa fue envasada en bolsas de plástico para que no pierda la humedad natural y fue llevada a laboratorio.
- Los instrumentos usados en la presente investigación fueron los Softwares y hojas de cálculo, el cuestionario de encuesta; del fichaje de resumen, bibliográficas y cuadros de resumen y estadísticos; de la observación se tiene a los informes mensuales anuales.

3.8. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

El procedimiento de recolección de datos se realizó a través de los formatos de laboratorios de mecánica de suelos y de materiales y así como el laboratorio de asfalto de la Universidad San Pedro y laboratorio de Ensayo químico del Empresa Sider-Perú.

3.9. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS:

3.9.1.- TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO

La técnica de procesamiento de datos obtenidos de los ensayo de laboratorio se evaluó con las normas técnicas de MTC, ASTM y ASSTHO.

3.9.2.- ANÁLISIS DE DATOS

Análisis de datos fue realizada a través de cálculos estadísticos, como cuadros, barras y prueba t de Student.

3.10. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.10.1.- MUESTREO

- Para la ejecución del presente estudio, fue importante la toma de muestra de acuerdo con la norma NTP 339.089:1998 basada en la norma ASTM D 75,

estableciendo todas las precauciones necesarias para la toma de muestra, era importante que esta no se altere o mezcle con otro material tomando una parte importante del proceso, esta muestra fue obtenida del proceso de la producción siderúrgica de una misma secuencia, es decir de un día en particular y a diferentes coladas, esta escoria se enfrió con chorros de agua provocando cambios térmicos bruscos y luego fue procesada para extraer la parte metálica.

- Además se utilizaron agregados de cantera Dolung (Agregados de Chimbote) de su planta Nor Este. El muestreo de los mismos se realizó en los apilamientos de cantera del Chimbote.

3.10.2.- CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES:

A. CEMENTO ASFÁLTICO

En Perú se producen CAP PEN de diferentes rangos de penetración según las Viscosidades Obtenidas en las refinerías de Petroperú y Repsol. En presente trabajo se va utilizar de tipo PEN 60/70 clasificado según su viscosidad, extraído de la refinería "LA PAMPILLA".

B. AGREGADOS

Las pruebas realizadas están dentro de las "ESPECIFICACIONES GENERALES DE MTC, AASHTO Y ASTM". Se realizaron en laboratorio de mecánica de suelos y ensayos de materiales – UNIVERSIDAD SAN PEDRO.

C. AGREGADOS TRADICIONALES

El agregado grueso se compondrá de piedra triturada, grava triturada en la cantera. Estos agregados son utilizados por las empresas constructoras que se

dedican hacer mezcla asfáltica. Este material se caracterizó 3/8" a 0", 1" a No. 4.

Para su caracterización se mezclaron en proporción 60%, 30%,10%, luego esta combinación se utilizó en una mezcla asfáltica.

D. ESCORIA DE ACERÍA.

Proveniente de la planta de SIDER-PERU, es de textura porosa, color café oscuro, con peso mayor al de los agregados tradicionales, no tiene plasticidad, y tiene forma cúbica.

3.10.3.- DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Se diseñaron 3 mezclas asfálticas con diferentes proporciones escoria agregado tradicional. Las mezclas se diseñaron de acuerdo al método Marshall, ya que este es el indicado por el Ministerio de Transporte (MTC). Los tres diseños son de TMN (tamaño máximo nominal) 1/2", ya que este es el que mejor se ajusta a la granulometría de la escoria, pues la misma se encuentra en el rango de esa graduación.

3.10.4.- COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Por diferentes razones se deben realizar combinaciones de agregados, de manera que cumplan con las especificaciones de gradación. Son diferentes los métodos que se puedan emplear para tal fin, entre ellos está la dosificación de los agregados por peso y por métodos gráficos.

COMBINACION DE AGREGADOS EN LA MEZCLA		
Tipo de mezcla	% ESC.*	%AT. **
I	100	0
II	80	40
III	0	100

*Escoria. **Agregados tradicionales.

A. MEZCLA TIPO I.

Se decidió hacer una mezcla con 100% escoria, con el fin de evaluarla como agregado en la mezcla. La granulometría de la escoria se ajustó a las especificaciones técnicas de MTC, debido a que la misma no era adecuada, esto se debe al bajo porcentaje de finos que posee.

B. MEZCLA TIPO II.

Para esta mezcla la escoria se combinó con agregado tradicional tipo 3/8" a 0" en proporción 60%, 40%. Se decidió usar esta proporción para evaluar una mezcla que combine agregados tradicionales con escoria. La granulometría de la escoria combinada con la del agregado tradicional, se ajusta a las especificaciones técnicas para diseño de mezcla según en MTC.

C. MEZCLA TIPO III.

Se utilizó como mezcla control para comparar las características de mezclas con escoria con una mezcla con agregados tradicionales. Se utilizaron agregados tradicionales de 1/2" a 0, en proporción 60%,30% 10% respectivamente según las normas de MTC.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1.1.- MATERIALES

4.1.1.1.- CEMENTO ASFÁLTICO

	C A 60/70					
	Especificación		Asfalto	Asfalto	Asfalto	Asfalto
	Chilena		1	2	3	4
	min	máx				
Densidad a 25°C	1,00	1,05		1,01	1,02	1,00
Penetración (0,1mm) 25°C, 100g, 5 s	60	70	68	67	66	74
Punto de Reblandecimiento (°C)	45	55	48	50	48	48
Índice de Penetración	-1	+1	-0,74	-0,47	-1,0	-0,74
Ductilidad, @ 25°C, 5cm/ min,cm	100		>100	>100	>100	>100
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99,0		99	99,2	99,5	99,7
Ensayo de la mancha con Hep-Xil (% Xilol)		20	15	25	25	25
Oxidación en Película Fina						
Pérdida por calentamiento, %	0,8		0,03	0,09	0,09	0,09
Penetración conservada, % del Original	54		71	68,7	63,6	54,1
Ductilidad, @ 25°C, 5cm/ min,cm	50		60	115	>150	>150

Tabla N° 011 Resultados Obtenidos en el Análisis De Los Asfaltos

4.1.1.2.- AGREGADOS.

Prueba	Resultado			Especificación
	Escoria	Agregado Grueso	Arena Grueso	
Abrasión de los Angeles % ASTM C-131	27.60	17.36	xxxxx	40% Máx.
Desintegración al sulfato de sodio % ASTM C-88	2.299	2.184	2.992	12% Máx.
		2.588	2.588	
Partículas planas y alargadas % ASTM D-4791	6 y 11	13 y 26	xxxxx	15% Máx.
Gravedad específica ASTM C-128 y C-127	2.52	2.63	2.45	15% Máx.
Equivalente de arena % AASHTO T-176	74.10	xxxxx	71.40	35% Mín.
Índice plástico AASHTO T- 90	NA.	NA.	NA.	4% Máx.
Granulometría ASTM C-136	No cumple especificación (ver anexo)	Cumple especificación (ver anexo)	Cumple especificación (ver anexo)	** **

Tabla N° 012 Resultados caracterización de agregados

4.1.2.- MEZCLAS ASFÁLTICAS.

RESULTADOS DE MEZCLA I

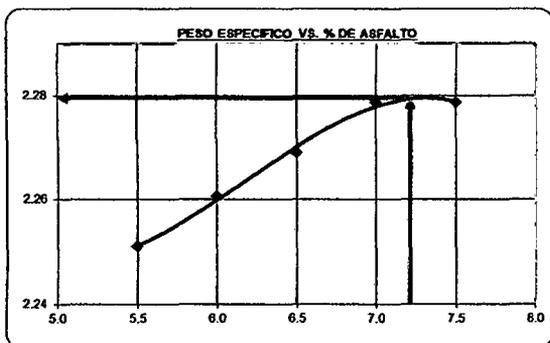


Fig. 1.1

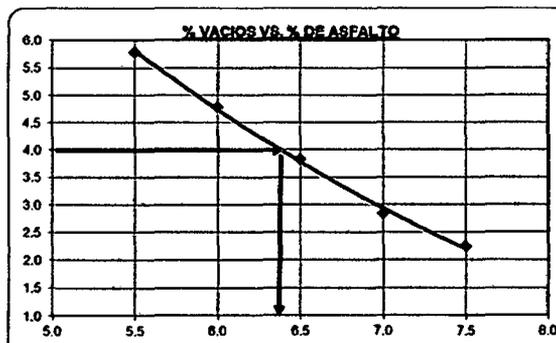


Fig. 1.2

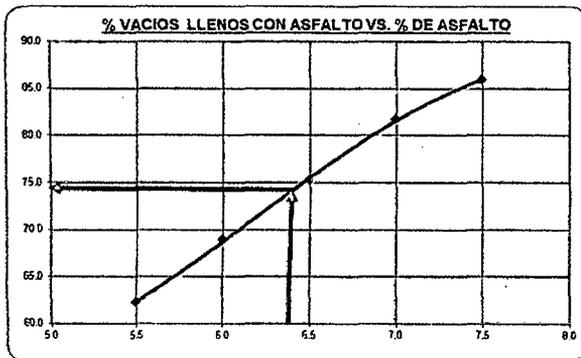


Fig. 1.3

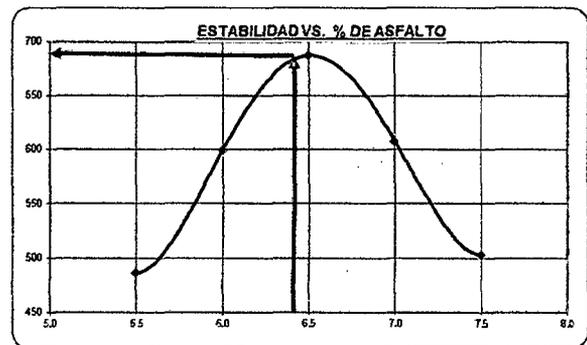


Fig. 1.4

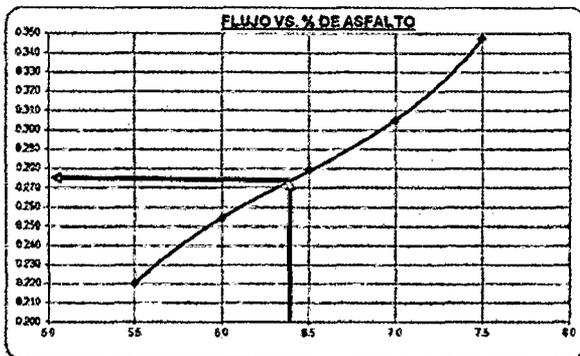


Fig. 1.5

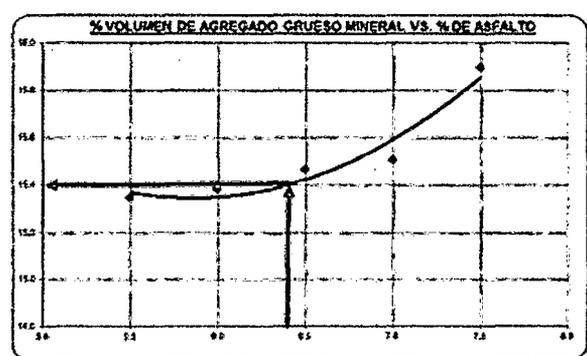


Fig. 1.6

DETERMINACIÓN DEL OPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO DE MEZCLA I

El contenido de diseño de asfalto se determina a partir de los resultados (Figuras).

- Primero se determina el contenido de asfalto para el cual el contenido de vacíos es de 4% se determina en Fig. 1.2 y luego podemos observar que el contenido de asfalto (Fig. 1.2), para un contenido de vacíos de 4 por ciento, es de 6.4 por ciento. Los valores de las otras propiedades de la mezcla son luego revisados para garantizar que cumplen con los criterios de diseño Marshall. Refiriéndonos de nuevo a las gráficas de la Figura 1.2, encontramos que un contenido de

asfalto de 6.4 por ciento representa los siguientes valores de las otras propiedades:

1. Estabilidad Marshall (Fig. 1.4) = 690Kgs (1521 Lbs).
2. Flujo (Fig. 1.5) = 0.275cm (10.83").
3. Porcentaje de vacios, VTM (Fig.1.2) = 4.00%
4. Porcentaje de vacios del agregado mineral, VMA (Fig. 1.3) = 15.45
5. Porcentaje de vacios lleno de asfalto, VFA (Fig. 1.6) = 74.8

RESULTADOS DE MEZCLA II

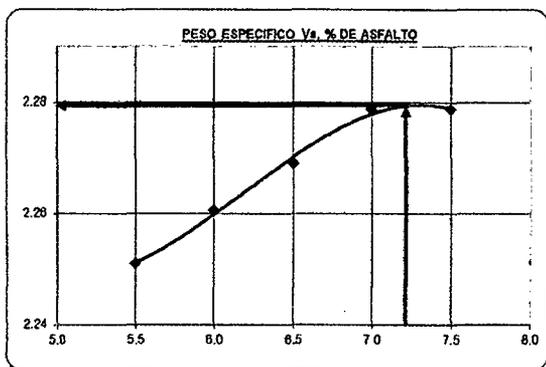


Fig. 2.1

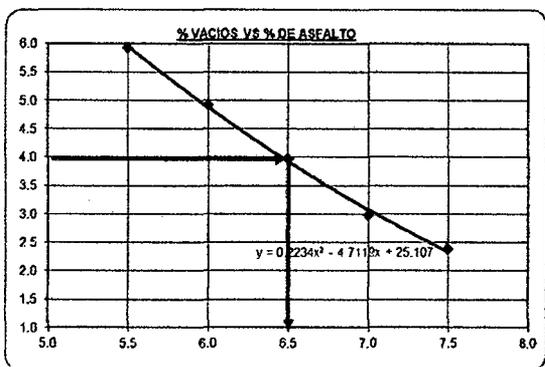


Fig. 2.2

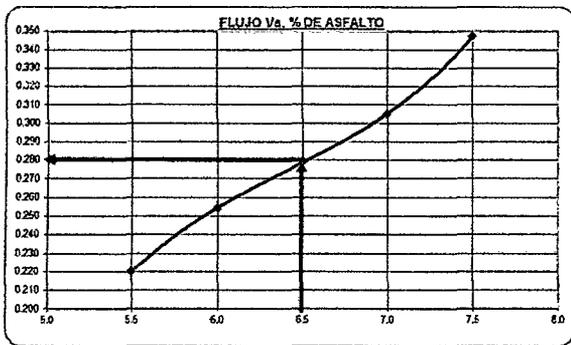


Fig. 2.3

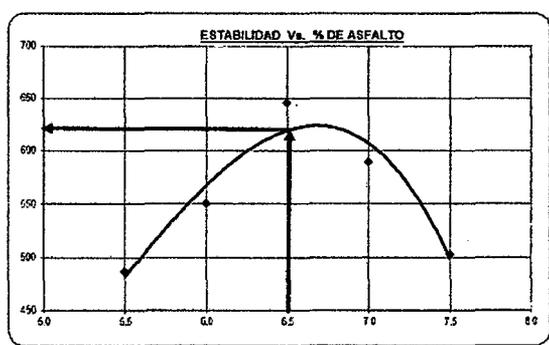


Fig. 2.4

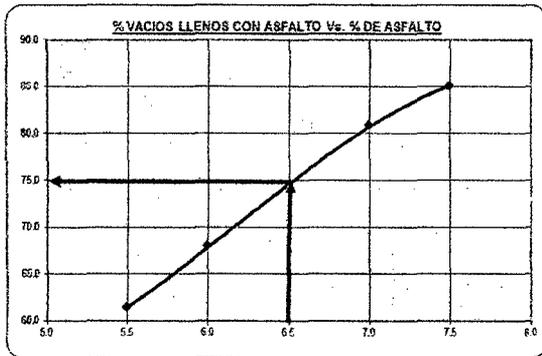


Fig. 2.5

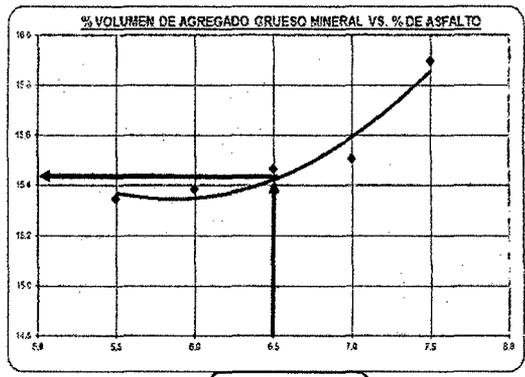


Fig. 2.6

DETERMINACIÓN DEL OPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO DE MEZCLA II

El contenido de diseño de asfalto se determina a partir de los resultados (Figuras).

➤ Primero se determina el contenido de asfalto para el cual el contenido de vacíos es de 4% se determina en Fig. 2.2 y luego podemos observar que el contenido de asfalto (Fig. 2.2), para un contenido de vacíos de 4 por ciento, es de 6.5 por ciento. Los valores de las otras propiedades de la mezcla son luego revisados para garantizar que cumplen con los criterios de diseño Marshall. Refiriéndonos de nuevo a las gráficas de la Figura 2.2, encontramos que un contenido de asfalto de 6.5 por ciento representa los siguientes valores de las otras propiedades:

➤

1. Estabilidad Marshall (Fig. 2.4) = 630Kgs (1389 Lbs).
2. Flujo (Fig. 2.5) = 0.279cm (10.98").
3. Porcentaje de vacíos, VTM (Fig.2.2) = 4.00%
4. Porcentaje de vacíos del agregado mineral, VMA (Fig. 2.3) = 15.43
5. Porcentaje de vacíos lleno de asfalto, VFA (Fig. 2.6) = 74.9

RESULTADOS DE MEZCLA III

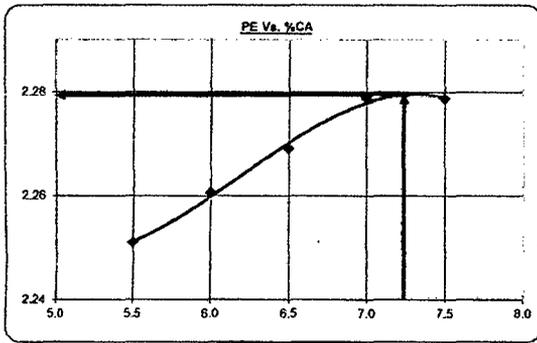


Fig. 3.1

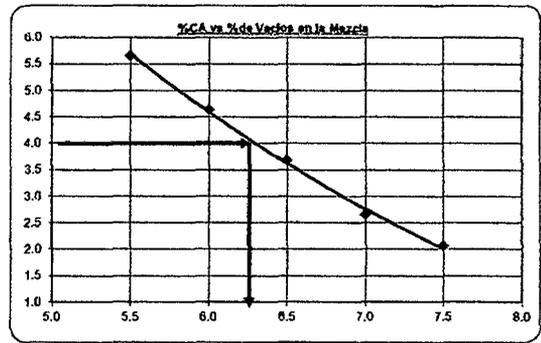


Fig. 3.2

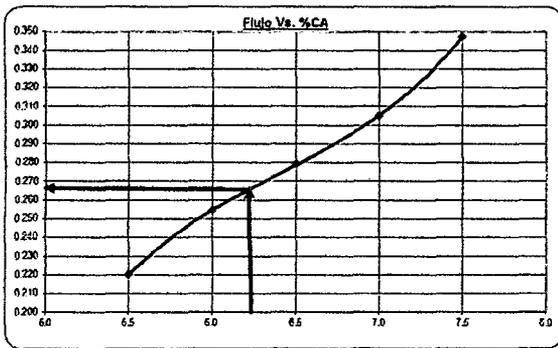


Fig. 3.3

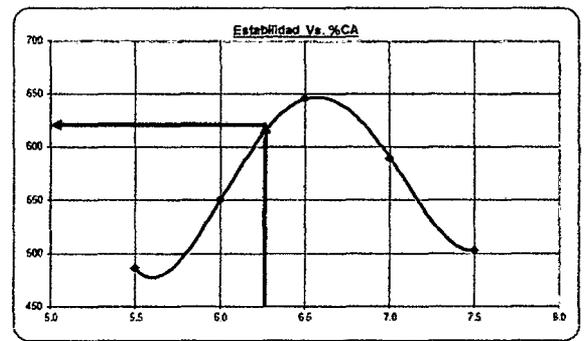


Fig. 3.4

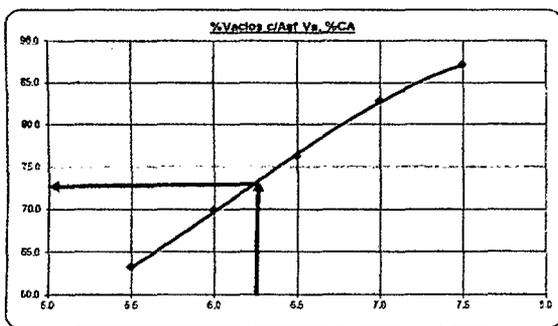


Fig. 3.5

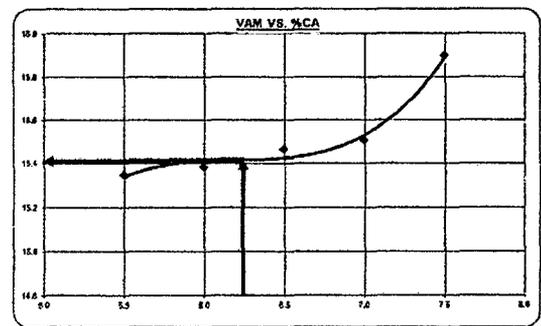


Fig. 3.6

CONCLUSIONES

- A. La escoria de la acería del Sider Perú, que proviene de la fusión del acero en el acero horno eléctrico, se puede emplear como material de sub-base, base y en mezcla asfáltica para carpeta del pavimento fue empleado como cualquier material de cantera presenta ventajas y desventajas la principal desventaja es la falta de finos en su granulometría, pero es subsanable agregando finos de otra cantera, como lo proponemos para mezcla asfáltica, así como también presencia de cal libre provoque una expansión que perjudique la estructura, pero dicho potencial se redujo totalmente exponiendo las escorias a la intemperie por un periodo mínimo de seis meses tal como se practica en los países donde se emplea este subproducto.
- B. Los ensayos realizados nos demuestran que tanto la escoria como el material de cantera mantienen similares características, las ventaja de emplear la escoria es que ofrece la posibilidad de reciclar un residuo que ocupa un espacio importante; se reduce la explotación de canteras que perjudican al medio ambiente al variar el paisaje de la zona.
- C. El porcentaje de absorción en la escoria es mayor al de los agregados Tradicionales, esto se traduce en mayor contenido de asfalto.
- D. Las mezclas hechas con escoria de acería eléctrica presentan más altos de estabilidad, la cual nos indica son más resistentes a la deformación causada por tráficos.

- E. Al dosificar y al combinarla escoria y agregados tradicionales se consiguió compensar el bajo porcentaje de finos en la misma y se aumenta el porcentaje de asfalto.
- F. Cuando la escoria de acería eléctrica se ajusta con agregado tradicional, el contenido de asfalto aumenta conforme crece el porcentaje de escoria en la mezcla.
- G. Una de las características más importante del Marshall es la curva de estabilidad que presentaron las mezclas con escoria de acería eléctrica, ya que fue más alta que en las mezclas con agregado tradicional, estos valores nos indica la durabilidad del pavimento.
- H. Las mezclas realizadas con escoria de acería eléctrica presentan valores superiores de estabilidad que las mezclas con agregado tradicional.
- I. El método de diseño Marshall es adecuado para diseñar mezclas con escoria de acería eléctrica, no presento ningún problema en su aplicación a dicho material.

RECOMENDACIONES

- I. Tener más cuidado en la dosificación de escoria con agregado tradicional para mezcla asfáltica
- II. Proveer seguimiento a esta investigación, haciendo un tramo de prueba para evaluar el comportamiento de la escoria de acería eléctrica durante vida útil en pavimento soportando solicitaciones del tráfico y los efectos del clima.
- III. Es una iniciativa esta investigación para seguir Haciendo más estudios acerca del uso de la escoria de acería eléctricas en obras civiles y en toras aplicaciones.
- IV. Establecer procedimientos, técnicos que sustente el uso, como tienen los países desarrollados productores de acero. Incluir en la nueva normativa CE-010 de aceras y pavimentos como un agregado alternativo o agregado artificial.

LISTA DE SÍMBOLOS

A.A.	: Absorción Atómica
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ABFS	: Air Blast Furnace Slag (escoria de alto horno enfriada por aire)
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BFS	: Blast Furnace Slag (Alto Horno)
BOFS	: Basic Oxygen Furnace Slag (Horno básico de oxígeno)
CaO	: Oxido de Calcio (Cal de caliza)
CAPECO	: Cámara Peruana de Construcción
CBR	: California Bearing Ratio
DRX	: Difracción de Rayos X
CO ₂	: Dióxido de carbono
EAF	: Electric Arc Furnace (Horno de Arco Eléctrico)
GBFS	: Granulated Blast Furnace Slag (Escoria Granulada de Alto Horno)
GGBFS	: Ground Granulated Blast Furnace Slag (Material Granulado de Escoria de Alto Horno)
INGEMMET	: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
LD	: Linz y Donawitz
NTP	: Norma Técnica Peruana
MgO	: Oxido de Magnesio (Cal de dolomita)
MTC	: Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Msnm	: Metros sobre el nivel del mar UV Ultra Violeta

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A: BIBLIOGRAFÍA:

1. ACERITAR^R : Escoria de Aciaria com Redução de Expansão
Revista ABM Sao Paulo, julio 2,004
2. Aiban SA (2,000) : Utilization of steel slag Aggregate for Road
Bases ASTM Internacional (2006)
3. Ana Biondi Shaw (1.974) : Utilización de las escorias de chimbote en
La utilización de concreto
Edit. UNI-FIC
4. Aramburu García (1,992) : Utilización de la escoria de SiderPerú como
Agregado
Edit. UNI-FIC
5. A.T. Peeters (1,987) : Producción Siderúrgica
Edit. Limusa
6. J.D. Gupta; Kneller W.A;
Rangamannar Tamirisa;
Skrzypczak-Jankum E.
(1,994) : Characterization of base and sub base
and steel slag aggregates causing
Calcareous tufa in drains
Edit. National Research Council,
Washington, DC, ETATS-UNIS
7. A.R. Rubio : La aplicación de escorias en carreteras
Biblioteca Virtual MULTISERV-HARSCO
8. ASTM D 75 (03) : Standard practice for sampling aggregate
ASTM International (2,008)
9. ASTM D 4792 (06) : Standard test Method for Potential Expansion Of
Aggregates from Hydration Reaction
ASTM International (2,006)
10. ASTM D 131 (06) : Standard test Method for Resistance to
Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by

11. ASTM D 1241 (07) : Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
ASTM International (2,006)
: Standard Specification for Materials for Soil-
Aggregate Sub base, Base and Surface Courses
ASTM International (2,007)
12. ASTM D 1883 (07) : Standard Test Method for CBR (California
Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soil
ASTM International (2,007)
13. Australasian Slag Association : A Guide To the Use Of Slag In Road
Archivo PDF (1,990)
14. Luciana Rohde : Escoria de aciaria Eléctrica em camadas
granulares de Pavimentos – estudio laboratorial
UFRGS Porto Alegre - Brasil (2,002)

B: PÁGINAS WEB:

1. www.asa-inc.org.au
2. www.asa-inc.org.au

ANEXOS



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

23

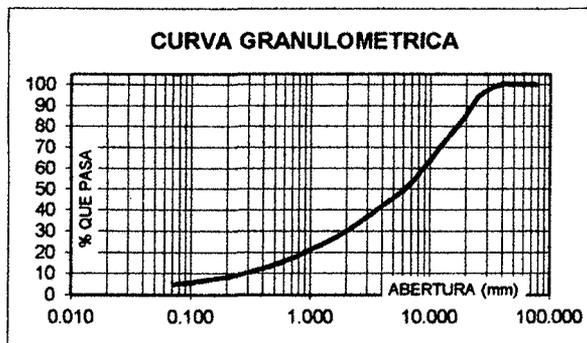
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
PROYECTO : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA EN BASE GRANULARES PARA PAVIMENTOS
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
FECHA : 17/07/2009 MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF

PESO SECO INICIAL	4996.3
PESO SECO LAVADO	4745.40
PESO PERDIDO POR LAVADO	250.90

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No	ABERT. (mm.)				
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	267.50	5.35	5.35	94.65
3/4"	19.100	515.70	10.32	15.68	84.32
1/2"	12.700	625.40	12.52	28.19	71.81
3/8"	9.520	482.50	9.26	37.45	62.55
1/4"	6.350	584.50	11.70	49.15	50.85
Nº 4	4.760	280.40	5.61	54.76	45.24
Nº 10	2.000	748.70	14.99	69.75	30.25
Nº 20	0.840	547.80	10.96	80.71	19.29
Nº 30	0.590	174.30	3.49	84.20	15.80
Nº 40	0.420	144.80	2.90	87.10	12.90
Nº 60	0.250	166.20	3.33	90.42	9.58
Nº 100	0.149	112.70	2.26	92.68	7.32
Nº 200	0.074	114.90	2.30	94.98	5.02
PLATO		250.90	5.02	100.00	0.00
TOTAL		4996.30	100.00		

LIMITE LIQUIDO (%) : 21.48
LIMITE PLASTICO (%) : N P
INDICE DE PLASTICIDAD (%) : N P
CLASIFICACION SUCS : G W - G M
CLASIFICACION AASHTO : A-1-a (0)



NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
Ing. Celso Manrique Cornelio
J E P E



INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : "VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : MEDINA - HUAMBACHO
MATERIAL : PIEDRA ZARANDEADA
FECHA : 03/08/2011

INDICE DE APLANAMIENTO (%) : 26

Tamiz		Total Partículas		Partículas Planas		Indice Aplanamiento Fracción (%)	Granulometria (%) retenido	Indice Aplanamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"	*		*		*	*	*
2"	1 1/2"	*		*		*	*	*
1 1/2"	1"	*		*		*	*	*
1"	3/4"	*		*		*	*	*
3/4"	1/2"	947.1	200	250.2	65	26	36.3	10
1/2"	3/8"	367.5	200	115.8	79	32	39.6	12
3/8"	1/4"	224.4	200	39.0	47	17	24.1	4
TOTALES							100.0	26

INDICE DE ALARGAMIENTO (%) : 13

Tamiz		Total Partículas		Partículas Alargadas		Indice Alargamiento Fracción (%)	Gradación original (%)	Indice Alargamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"	*		*		*	*	*
2"	1 1/2"	*		*		*	*	*
1 1/2"	1"	*		*		*	*	*
1"	3/4"	*		*		*	*	*
3/4"	1/2"	947.1	200	39.8	7	4	36.3	2
1/2"	3/8"	367.5	200	36.4	13	10	39.6	4
3/8"	1/4"	224.4	200	68.2	24	30	24.1	7
TOTALES							100.0	13

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño MTC - E221

NOTA : La muestra fué traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
J. E. P. S.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

21

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

CARAS FRACTURADAS

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : "VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : MEDINA - HUAMBACHO
MATERIAL : PIEDRA ZARANDEADA
FECHA : 03/08/2011

Criterio de fractura : Natural
Partículas con una cara fracturada (%) : 100.0
Partículas con dos o mas caras fracturadas (%) : 98.3

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 5821.

NOTA : La muestra fué traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
[Signature]
Ing. Celso Manrique Cornelio
JEFE



ADHERENCIA DEL AGREGADO GRUESO

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
: COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : MEDINA - HUAMBACHO
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 03/08/2011

Material Bituminoso : PEN 60-70
Recubrimiento inicial (%) : 100
Recubrimiento final (%) : +95 (retenido)

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño MTC E521 - 2000

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
[Signature]
Ing. Celso Manrique Cornelio
J. E. P. E.



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRIC/
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : MEDINA - HUAMBACHO
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 03/08/2011

P.E. Bulk (Base Seca)	:	2.861
P.E. Bulk (Base Saturada)	:	2.885
P.E. Aparente (Base Seca)	:	2.930
Absorción (%)	:	0.82

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 127

NOTA: La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Celso Manrique Cornelio
Ing. Celso Manrique Cornelio
JEFE



RESISTENCIA A LA ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : "VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : MEDINA - HUAMBACHO
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 03/08/2011

Peso de la muestra (gr.) : 5000
Metodo : B
Numero de esferas : 11
Numero de revoluciones : 500
Desgaste (%) : 17.36

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 131.

NOTA: La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
J E P S



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

17

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE RIEDEL WEBER MTC E 220

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA.
LUGAR : CHIMBOTE- PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : SAN JACINTO
MATERIAL : ARENA GRUESA (PARA USO DE MEZCLA ASFALTICA)
FECHA : 03/08/2011

Agregado : ARENA GRUESA
Asfalto : PEN 60-70
Desplazamiento Parcial (indice) : 5
Desplazamiento Total (indice) : 10

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño MTC E521 - 2000

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
J E F S



GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA.
LUGAR : SAN JACINTO - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : SAN JACINTO
MATERIAL : ARENA GRUESA (PARA USO DE MEZCLA ASFALTICA)
FECHA : 03/08/2011

P.E. Bulk (Base Seca) : 2.717
P.E. Bulk (Base Saturada) : 2.742
P.E. Aparente (Base Seca) : 2.788
Absorción (%) : 0.94

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 128

NOTA: La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

[Handwritten Signature]
Ing. Celso Manrique Cornelio
J E P C



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

15

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

EQUIVALENTE DE ARENA

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA.
LUGAR : CHIMBOTE- PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANtera : SAN JACINTO
MATERIAL : ARENA GRUESA (PARA USO DE MEZCLA ASFALTICA)
FECHA : 03/08/2011

TAMANO MAXIMO mm	4.76	4.76
MUESTRA N°	1	2
HORA DE ENTRADA	05 : 19' : 36''	05 : 20' : 41''
HORA DE SALIDA	05 : 29' : 36''	05 : 30' : 41''
HORA DE ENTRADA	05 : 31' : 21''	05 : 35' : 03''
HORA DE SALIDA	05 : 51' : 21''	05 : 55' : 03''
Alt. Máx del mat. Fino	4.50	4.60
Alt. Máx de la arena	3.30	3.20
EQUIVALENTE DE ARENA	73.3	69.6
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO (%)	71.4	

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 2419.

NOTA: La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

14

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE DURABILIDAD CON SULFATO DE SODIO

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA.
LUGAR : CHIMBOTE- PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : SAN JACINTO
MATERIAL : ARENA GRUESA
FECHA : 03/08/2011

AGREGADO FINO - ANÁLISIS CUANTITATIVO

Pérdidas (%) : 4.430

Tamaño	Peso Requerido (gr.)	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Pérdidas		Gradación Original (%)	Pérdidas Corregidas (%)
				Peso (gr)	(%)		
3/8" a N°4	100	-	-	-	-	2.0	1.074
N°4 a N°8	100	100	94.1	5.9	5.9	18.2	1.074
N°8 a N°16	100	100	96.4	3.6	3.6	26.4	0.950
N°16 a N°30	100	100	96.0	4.0	4.0	22.1	0.884
N°30 a N°50	100	100	97.2	2.8	2.80	16.0	0.448
N°50 a N°100	-	-	-	-	-	7.0	
pasa N° 100	-	-	-	-	-	8.3	
TOTALES						100.0	4.430

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 88.

NOTA : La muestra fué traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
[Signature]
Ing. Celso Manrique Cornelio
J E P E



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : SAN JACINTO
MATERIAL : ARENA GRUESA (PARA USO DE MEZCLA ASFALTICA)
FECHA : 03/08/2011

P.E. Bulk (Base Seca)	:	2.776
P.E. Bulk (Base Saturada)	:	2.829
P.E. Aparente (Base Seca)	:	2.930
Absorción (%)	:	1.89

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 127

NOTA: La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
J E P E



ENSAYO DE DURABILIDAD CON SULFATO DE SODIO

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : "VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA"
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : MEDINA - HUAMBACHO
MATERIAL : PIEDRA ZARANDEADA
FECHA : 03/08/2011

A. ANÁLISIS CUANTITATIVO

Pérdidas (%) : 2.184

Nº	Tamaño	%	Peso Requerido (gr.)	Peso Inicial (gr.)	Peso Final (gr.)	Pérdidas		Gradación Original (%)	Pérdidas Corregidas (%)
						Peso (gr)	(%)		
1	2 1/2" a 1 1/2"		5000 ± 500						
	2 1/2" a 2"	60	3000 ± 300	-	-			-	
	2" a 1 1/2"	40	2000 ± 200	-	-			-	
2	1 1/2" a 3/4"		1500 ± 50						
	1 1/2" a 1"	67	1000 ± 50	-	-			-	
	1" a 3/4"	33	500 ± 30	-	-			-	
3	3/4" a 3/8"		1000 ± 10						
	3/4" a 1/2"	67	670 ± 10	672.7	648.0	24.7	3.67	35.9	1.318
	1/2" a 3/8"	33	330 ± 5	330.2	324.3	5.9	1.79	39.2	0.700
4	3/8" a Nº4		300 ± 5	300.7	298.7	2.0	0.67	24.9	0.166
TOTALES								100.0	2.184

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 88.

NOTA : La muestra fué traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
J R P S



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

11

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE DURABILIDAD CON SULFATO DE SODIO

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA EN BASE GRANULARES PARA
PAVIMENTOS
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF
FECHA : 17/07/2009

AGREGADO GRUESO - ANALISIS CUANTITATIVO

Pérdidas (%) : 2.299

N°	Tamaño	%	Peso Requerido (gr.)	Peso Inicial (gr.)	Peso Final (gr.)	Pérdidas		Gradación Original (%)	Pérdidas Corregidas (%)
						Peso (gr)	(%)		
1	2 1/2" a 1 1/2"		5000 ± 500						
	2 1/2" a 2"	60	3000 ± 300						
	2" a 1 1/2"	40	2000 ± 200						
2	1 1/2" a 3/4"		1500 ± 50						
	1 1/2" a 1"	67	1000 ± 50	1026.2	972.2	54.0	5.26	9.8	0.516
	1" a 3/4"	33	500 ± 30	500.7	489.0	11.7	2.34	18.8	0.439
3	3/4" a 3/8"		1000 ± 10						
	3/4" a 1/2"	67	670 ± 10	670.6	661.2	9.4	1.40	22.9	0.321
	1/2" a 3/8"	33	330 ± 5	330.2	321.1	9.1	2.76	16.9	0.466
4	3/8" a N°4		300 ± 5	300.7	295.4	5.3	1.76	31.6	0.557
TOTALES								100.0	2.299

AGREGADO GRUESO - ANÁLISIS CUALITATIVO

Tamaño	Alteración de Partículas Después del Ensayo								N° inicial de Partículas
	Partidas		Agrietadas		Laminadas (escamosas)		Desintegradas		
	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
2 1/2" a 2"									
2" a 1 1/2"									
1 1/2" a 1"	1	3.7	-		-		-		27
1" a 3/4"	1	3.1	-		-		-		32

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 88.

NOTA : La muestra fue traída por personal técnico de este laboratorio.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Marrero Coronado
J E P E

Ciudad Universitaria.- Urb. Los Pinos Mz. B s/n-Chimbote
Telf. 043-323505 043-326150 043-326151
http://www.usp.edu.pe

Los Pinos Mz. B, s/n-Telf.: 043-323505 Anexo 217
Fax: 043-341079 - CHIMBOTE
Email: lmsyem@usp.edu.pe



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

10

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

INDICE DE APLANAMIENTO Y ALARGAMIENTO

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS.
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA EN BASE
GRANULARES PARA PAVIMENTOS
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF
FECHA : 17/07/2009

INDICE DE APLANAMIENTO (%) : 11

Tamiz		Total Partículas		Partículas Planas		Indice Aplanamiento Fracción (%)	Granulometria (%) retenido	Indice Aplanamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"	*	*	*	*	*	*	*
2"	1 1/2"	*	*	*	*	*	*	*
1 1/2"	1"	3715.7	100	630.1	25	17	10.9	2
1"	3/4"	3034.9	200	631.5	36	21	21.0	4
3/4"	1/2"	1050.2	200	71.3	20	7	25.5	2
1/2"	3/8"	406.3	200	25.3	18	6	18.8	1
3/8"	1/4"	153.9	200	10.0	18	6	23.8	2
TOTALES							100.0	11

INDICE DE ALARGAMIENTO (%) : 6

Tamiz		Total Partículas		Partículas Alargadas		Indice Alargamiento Fracción (%)	Gradación original (%)	Indice Alargamiento corregido (%)
Pasa	Retiene	Peso Inicial (gr)	N°	Peso (gr)	N°			
2 1/2"	2"	*	*	*	*	*	*	*
2"	1 1/2"	*	*	*	*	*	*	*
1 1/2"	1"	3715.7	100	134.7	2	4	10.9	0
1"	3/4"	3034.9	100	239.8	10	8	21	2
3/4"	1/2"	1050.2	200	32.9	4	3	25.5	1
1/2"	3/8"	406.3	100	28.6	9	7	18.8	1
3/8"	1/4"	153.9	200	13.1	12	9	23.8	2
TOTALES							100.0	6

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño MTC - E221

NOTA : La muestra fué traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
J E P E



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

CARAS FRACTURADAS

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
OBRA : EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
LUGAR : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA EN BASE
GRANULARES PARA PAVIMENTOS
MATERIAL : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
FECHA : ESCORIA DE ACERIA EAF
17/07/2009

Criterio de fractura	:	Natural
Partículas con una cara fracturada (%)	:	100.0
Partículas con dos o mas caras fracturadas (%)	:	100.0
Determinación de porcentaje	:	en peso

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 5821.

NOTA : La muestra fué traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
J E F S



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

ADHERENCIA DEL AGREGADO GRUESO

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA EN BASE
: GRANULARES PARA PAVIMENTOS
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF
FECHA : 17/07/2009

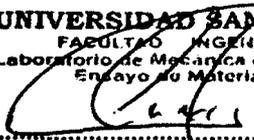
Material Bituminoso : PEN 60-70
Recubrimiento inicial (%) : 100
Recubrimiento final (%) : +95 (retenido)

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño MTC E521 - 2000

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales


Ing. Celso Manrique Cornelio
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

7

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA EN BASE
GRANULARES PARA PAVIMENTOS
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF
FECHA : 17/07/2009

P.E. Bulk (Base Seca)	:	2.730
P.E. Bulk (Base Saturada)	:	2.798
P.E. Aparente (Base Seca)	:	2.930
Absorción (%)	:	2.51

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 127

NOTA: La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

.....
Ing. Celso Manrique Cornelio
J.E.P.E



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

RESISTENCIA A LA ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
PROYECTO : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA EN BASE
GRANULARES PARA PAVIMENTOS
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF
FECHA : 17/07/2009

Peso de la muestra (gr.) : 5000
Método : A
Número de esferas : 12
Número de revoluciones : 500
Desgaste (%) : 27.60

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 131.

NOTA : La muestra fué traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

Ing. Celso Manrique Cornelio
JEFE



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

5

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA EN
BASE GRANULARES PARA PAVIMENTOS
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF
FECHA : 17/07/2009

P.E. Bulk (Base Seca) : 2.621
P.E. Bulk (Base Saturada) : 2.681
P.E. Aparente (Base Seca) : 2.788
Absorción (%) : 2.29

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 128

NOTA: La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
[Signature]
Ing. Celso Manrique Cornelio
J E F S



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

4

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

EQUIVALENTE DE ARENA

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA

PROYECTO : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA EN
BASE GRANULARES PARA PAVIMENTOS

LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH

MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF

FECHA : 17/07/2009

TAMANO MAXIMO mm	4.76	4.76
MUESTRA N°	1	2
HORA DE ENTRADA	08 : 35' : 18''	08 : 37' : 40''
HORA DE SALIDA	08 : 45' : 18''	08 : 47' : 40''
HORA DE ENTRADA	08 : 50' : 02''	08 : 53' : 56''
HORA DE SALIDA	09 : 10' : 02''	09 : 13' : 56''
Alt. Máx del mat. Fino	4.20	4.30
Alt. Máx de la arena	3.20	3.10
EQUIVALENTE DE ARENA	76.2	72.1
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO (%)	74.1	

ESPECIFICACIONES: El ensayo responde a la norma de diseño ASTM D - 2419.

NOTA: La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

[Signature]

.....
Ing. Celso Manrique Cornelio
JEFE



ENSAYO DE DURABILIDAD CON SULFATO DE SODIO

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA

OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA EN BASE GRANULARES PARA
PAVIMENTOS

LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH

MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF

FECHA : 17/07/2009

AGREGADO FINO - ANÁLISIS CUANTITATIVO

Pérdidas (%) : 2.992

Tamaño	Peso Requerido (gr.)	Peso Inicial (gr)	Peso Final (gr)	Pérdidas		Gradación Original (%)	Pérdidas Corregidas (%)
				Peso (gr)	(%)		
3/8" a N°4	100	100	93.5	6.5	6.5	27.1	0.852
N°4 a N°8	100	100	96.3	3.7	3.7	20.4	0.755
N°8 a N°16	100	100	97.1	2.9	2.9	16.6	0.481
N°16 a N°30	100	100	95.0	5.0	5.0	11.0	0.550
N°30 a N°50	100	100	94.2	5.8	5.80	6.1	0.354
N°50 a N°100	-	-	-	-	-	7.4	
pasa N° 100	-	-	-	-	-	11.4	
TOTALES						100.0	2.992

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 88.

NOTA : La muestra fué traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales

[Signature]
Ing. Celso Manrique Cornelio
J.E.F.E



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

2

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE RIEDEL WEBER MTC E 220

SOLICITA : BACH. ING. JULIO JURADO CONTRERAS
EST. RUBEN DARIO CHOQUE HINOJOSA
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA EN
BASE GRANULARES PARA PAVIMENTOS
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
MATERIAL : ESCORIA DE ACERIA EAF
FECHA : 17/07/2009

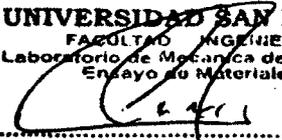
Agregado : ARENA GRUESA
Asfalto : PEN 60-70
Desplazamiento Parcial (índice) : 5
Desplazamiento Total (índice) : 10

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño MTC E521 - 2000

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales


Ing. Celso Manrique Cornelio
J E P S



UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

ADHERENCIA DEL AGREGADO GRUESO

SOLICITA : BACH. CHOQUE HINOJOSA RUBEN DARIO
OBRA : VIABILIDAD PARA EL USO DE LA ESCORIA DE ACERIA ELECTRICA
: COMO AGREGADO EN MEZCLA ASFALTICA.
LUGAR : CHIMBOTE - PROVINCIA DEL SANTA - ANCASH
CANTERA : MEDINA - HUAMBACHO
MATERIAL : PIEDRA CHANCADA
FECHA : 03/08/2011

Material Bituminoso : PEN 60-70
Recubrimiento inicial (%) : 100
Recubrimiento final (%) : +95 (retenido)

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño MTC E521 - 2000

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
[Signature]
Ing. Celso Manrique Cornelio
J E P S