

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



**“MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO MECÁNICAS DE ADOQUINES DE
CEMENTO PARA PAVIMENTACION,
ADICIONANDO ESCORIA DE HORNO
ELÉCTRICO EN SU PROCESO DE FABRICACIÓN
- NUEVO CHIMBOTE - 2015”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

TESISTAS:

Bach. LOPEZ LARREA, Marvin Jairo
Bach. PINEDO BUSTAMANTE, Marco Antonio

ASESOR:

Ing. RIVASPLATA DIAZ, Julio

NUEVO CHIMBOTE – PERU
2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**“MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO
MECÁNICAS DE ADOQUINES DE CEMENTO PARA
PAVIMENTACION, ADICIONANDO ESCORIA DE HORNO
ELÉCTRICO EN SU PROCESO DE FABRICACIÓN - NUEVO
CHIMBOTE - 2015”**

TESISTAS:

Bach. LOPEZ LARREA, Marvin Jairo

Bach. PINEDO BUSTAMANTE, Marco Antonio

REVISADO POR:

Ing. RIVASPLATA DIAZ, Julio

ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**“MEJORAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO
MECÁNICAS DE ADOQUINES DE CEMENTO PARA
PAVIMENTACION, ADICIONANDO ESCORIA DE HORNO
ELÉCTRICO EN SU PROCESO DE FABRICACIÓN - NUEVO
CHIMBOTE - 2015”**

REVISADO Y APROBADO POR EL JURADO EVALUADOR:

Ing. JANET SAAVEDRA VERA
PRESIDENTE

Ing. JULIO RIVASPLATA DIAZ
INTEGRANTE

Ing. CIRILO OLASCUAGA CRUZADO
INTEGRANTE



AGRADECIMIENTO:

A todas aquellas personas y la institución que colaboraron en la realización del presente informe de Tesis.

A nuestro asesor de tesis el Ing. Julio Rivasplata Díaz, por brindarnos su apoyo y asesoramiento permanente en la realización de la presente Tesis.

A Dios, a nuestros Padres, y a todos aquellos que contribuyeron en la ejecución de este proyecto de investigación.

A nuestra Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil que a través de sus docentes nos impartieron sus experiencias y conocimientos, durante el periodo de nuestra formación académica.

**Marvin Jairo López Larrea &
Marco Antonio Pinedo Bustamante**



DEDICATORIA:

✎ A mi padres Betty Larrea Villanueva y Ricardo López Robles por sus enseñanzas, buenos consejos, apoyo incondicional y por su amor brindado en todo momento durante mi desarrollo profesional, a mi hermano Wilhy López Larrea por su compañía. A todos ellos les ofrezco mi más sincero agradecimiento por ser mi soporte en todo.

López Larrea Marvin Jairo

✎ A mis padres, Carmen esperanza Bustamante Díaz y marco Antonio pinedo Chávez quienes me brindaron lo mejor de cada uno de ellos y a mi hermano miguel augusto pinedo Bustamante, les estoy enteramente agradecido por estar conmigo en acontecimientos importante de mi vida.

Pinedo Bustamante Marco Antonio



RESUMEN

El presente trabajo de investigación donde se realizara el diseño y elaboración de Adoquines de cemento adicionando escoria horno eléctrico, para ser utilizados en pavimentación; el cual está orientado a mejorar y proponer unidades constructivas de conveniente comportamiento al tránsito vehicular pesado, a través de la adición de dicho componente(E.H.E.), en el diseño de mezcla del concreto y la utilización de una Mesa Vibradora Portátil con la finalidad de tener una mejor compacidad y así incrementar la resistencia.

Esto consiste en mejorar las características físicas mecánicas de los adoquines de pavimentos, realizando ensayos de los agregados y el control de los adoquines de cemento con escoria de alto horno eléctrico.



ABSTRACT

This research where design and production of concrete pavers will be made by adding electric furnace slag , for use in paving ; which is aimed at improving and propose constructive units suitable behavior to heavy vehicular traffic through the addition of the component (EHE) , in the design of concrete mix and the use of a table Vibrating laptop in order to have improved compactness and thus increase resistance .

This is to improve the mechanical physical characteristics of cobblestone pavement , performing tests of control aggregates and concrete pavers with electric furnace slag .`



ÍNDICE

1 CAPITULO I GENERALIDADES

1.1	ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	05
1.2	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	06
1.3	VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	06
1.4	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	07
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	07
1.4.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	07
1.5	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	07
1.5.1	UNIDAD DE ANÁLISIS.....	08
1.5.2	VARIABLES.....	08
1.6	HIPÓTESIS.....	08
1.7	ESTRATEGIA DE TRABAJO.....	08
1.7.1	MÉTODO DE ESTUDIO.....	08
1.7.2	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	08
1.7.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	09
1.7.4	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	10

2 CAPITULO II MATERIALES Y METODOS

2.1.	ESTUDIO DEL ADOQUÍN DE CONCRETO VIBRADO.....	12
2.1.1	INTRODUCCIÓN.....	12
2.1.2	ADOQUÍN DE CONCRETO VIBRADO.....	13
2.1.3	CONCRETO VIBRADO.....	14
2.1.3.1	FUNDAMENTO DE LA TEORÍA DE LA VIBRACIÓN.....	14
2.1.3.2	PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TEORÍA DE LA VIBRACIÓN.....	14
2.1.3.3	PROPIEDADES DEL CONCRETO VIBRADO.....	15
2.1.3.3.1	COMPACIDAD.....	15
2.1.3.3.2	IMPERMEABILIDAD.....	16
2.1.3.3.3	RESISTENCIA MECANICA.....	16
2.1.3.3.4	RESISTENCIA A LA ABRASION.....	17
2.1.3.3.5	DESMOLDE RAPIDO.....	17
2.1.3.4	CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO VIBRADO.....	17
2.1.4	ESCORIA METALÚRGICA.....	18
2.1.4.1	GENERALIDADES.....	18
2.1.4.2	CLASIFICACIÓN DE ESCORIAS UTILIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	19
2.1.4.3	PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL ACERO DE SIDERPERÚ.....	21
2.1.4.4	PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACERO VÍA HORNO ELÉCTRICO.....	24
2.1.5	IMPORTANCIA DEL USO DEL ADOQUÍN EN LA PAVIMENTACIÓN.....	28



2.1.5.1	VENTAJAS DE LA PAVIMENTACIÓN CON ADOQUINES.....	28
2.1.5.2	DESVENTAJAS DE PAVIMENTAR CON ADOQUINES.....	30
2.1.6	ADICIÓN.....	30
2.1.7	ESCORIA DE HORNOS ELECTRICOS DE SIDERPERU.....	31
2.1.7.1.	DEFINICIONES.....	31
2.1.7.2.	CARACTERISTICAS QUIMICAS.....	32
2.1.7.3.	CARACTERISTICAS FISICAS.....	33
2.1.7.4.	ESTABILIDAD VOLUMETRICA DE LA ESCORIA DE HORNO ELECTRICO.....	33
2.1.7.5.	METODO DE TRATAMIENTO DE ESTABILIDAD VOLUMETRICA DE LA ESCORIA SIDERURGICA DE ACERO DE ARCO ELECTRICO.....	35
2.1.7.6.	VOLUMENES DE PRODUCCION DE ESCORIA DE HORNO ELECTRICO.....	36
2.1.7.7.	CANTIDAD DE ESCORIA DISPONIBLE.....	36
2.1.7.8.	IMPACTO AMBIENTAL.....	37
2.1.8	AGUA PARA EL CONCRETO.....	37
2.1.8.1	DEFINICIÓN.....	37
2.1.8.2	LIMITES PERMISIBLES.....	38
2.1.8.3	AGUAS NO RECOMENDABLES PARA EL CONCRETO.....	39
2.1.9	ADITIVOS COLORANTES.....	39
2.1.9.1	DEFINICIÓN.....	39
2.1.9.2	PIGMENTOS O ADITIVOS COLORANTES.....	39
2.1.9.3	REQUISITOS DEL ADITIVO COLORANTE.....	40
2.1.9.4	PORCENTAJE DE ADICIÓN.....	40
2.2	ESTUDIO DE MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES.....	41
2.2.1	DISPOSICIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE AFIRMADOS, SUB BASES, Y BASES GRANULARES.....	41
2.2.1.1	MATERIALES PARA SUB BASES.....	42
2.2.1.2	MATERIALES PARA BASE GRANULAR.....	45
2.2.2	MATERIAL PARA TERRENO MEJORADO.....	47
2.2.3	MATERIAL ÁRIDO PARA LA CAPA DE SOPORTE DE LOS ADOQUINES.....	48
2.2.4	MATERIAL ÁRIDO PARA EL SELLADO DE LAS JUNTAS DE LOS ADOQUINES.....	49
2.3	DISEÑO DE MEZCLA.....	50
2.3.1	INTRODUCCIÓN.....	50
2.3.2	MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA.....	51
2.3.2.1	MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	51



2.3.2.2	MÉTODO ACI.....	52
2.3.2.3	MÉTODO DE WALKER.....	52
2.3.3	SECUENCIA DE DISEÑO.....	53
3	CAPITULO III MATERIALES Y METODOS	
3.1	MATERIALES COMPONENTES DEL ADOQUÍN ADICIONANDO ESCORIA.....	57
3.1.1	CEMENTO PÓRTLAND.....	57
3.1.1.1	DEFINICIÓN.....	57
3.1.1.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	57
3.1.1.3	CEMENTO PORTLAND PACASMAYO TIPO MS.....	59
3.1.2	AGREGADO FINO.....	60
3.1.2.1	DEFINICIÓN.....	60
3.1.2.2	PROPIEDADES FÍSICAS.....	61
3.1.2.2.1	PESO ESPECÍFICO.....	61
3.1.2.2.2	PESO UNITARIO.....	62
3.1.2.2.3	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	63
3.1.2.2.4	ABSORCIÓN.....	64
3.1.2.2.5	GRANULOMETRÍA.....	65
3.1.2.2.6	CURVA GRANULOMÉTRICA.....	66
3.1.2.2.7	MÓDULO DE FINEZA.....	68
3.1.2.2.8	MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA N° 200.....	68
3.1.3	AGREGADO GRUESO.....	69
3.1.3.1	DEFINICIÓN.....	69
3.1.3.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS.....	69
3.1.3.3	PROPIEDADES FÍSICAS.....	69
3.1.3.3.1	PESO ESPECÍFICO.....	69
3.1.3.3.2	PESO UNITARIO.....	70
3.1.3.3.3	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	71
3.1.3.3.4	ABSORCIÓN.....	72
3.1.3.3.5	GRANULOMETRÍA.....	72
3.1.3.4	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	74
3.1.3.4.1	DESGASTE O ABRASIÓN.....	74
3.1.4	ESCORIA DE HORNOS ELECTRICOS DE SIDERPERU.....	76
3.1.4.1	ESCORIA DE HORNO ELECTRICO.....	76
3.1.4.2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C-136, NPT 400.037).....	77
3.1.4.3	PESO UNITARIO O VOLUMÉTRICO DE LA ESCORIA (ASTM C-29, NTP 400.017).....	78
3.1.4.4	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ESCORIA (ASTM C-127, NPT 400.021 Y ASTM C-128 NPT 400.022).....	79
3.1.4.5	CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C-566, NTP 400.021).....	80
3.1.4.6	ABRASIÓN O DESGASTE DE LA EHE (ASTM C 131).....	82



3.1.5	AGUA PARA EL CONCRETO.....	83
3.1.5.1	DEFINICIÓN.....	83
3.1.5.2	LIMITES PERMISIBLES.....	83
3.1.5.3	AGUAS NO RECOMENDABLES PARA EL CONCRETO.....	84
3.1.6	ADITIVOS COLORANTES.....	85
3.1.6.1	DEFINICIÓN.....	85
3.1.6.2	PIGMENTOS O ADITIVOS COLORANTES.....	85
3.1.6.3	REQUISITOS DEL ADITIVO COLORANTE.....	86
3.1.6.4	PORCENTAJE DE ADICIÓN.....	86
3.2	ESTUDIO DE MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES.....	86
3.2.1	DISPOSICIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE AFIRMADOS, SUB BASES, Y BASES GRANULARES.....	87
3.2.1.1	MATERIALES PARA SUB BASES.....	88
3.2.1.2	MATERIAL PARA BASE GRANULAR.....	90
3.2.2	MATERIAL ÁRIDO PARA LA CAPA DE SOPORTE DE LOS ADOQUINES.....	93
3.2.3	MATERIAL ÁRIDO PARA EL SELLADO DE LAS JUNTAS DE LOS ADOQUINES.....	94
3.3	DISEÑO DE MEZCLA.....	95
3.3.1	INTRODUCCIÓN.....	95
3.3.2	MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA.....	96
3.3.2.1	MÉTODO ACI.....	97
4	CAPITULO IV DESARROLLO DE LA INVESTIGACION EXPERIMENTAL	
4.1	CONTROL DE LOS ADOQUINES CON ADICION DE EHE Y VIBROCOMPACTADOS.....	99
4.1.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ADOQUINES CON EHE VIBROCOMPACTADOS.....	99
4.1.2	NORMAS QUE RIGEN LOS ADOQUINES.....	99
4.2	DISEÑO DE MEZCLA QUE SE UTILIZO.....	100
4.2.1	EL MÉTODO ACI.....	100
4.3	PROCESO DE MOLIENDA DELA ESCORIA.....	105
4.4	DETERMINACION DEL ÓPTIMO CONTENIDO DE ESCORIA COMO ADICION.....	105
4.4.1	ELABORACIÓN Y CURADO.....	106
4.5	EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICO-MECANICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERIA SEGÚN LA PROPORSION DE ESCORIA EMPLEADA	111
4.5.1	DIMENSIONAMIENTO Y VARIACIÓN LONGITUDINAL.....	111
4.5.2	PROPIEDADES FÍSICAS.....	115
4.5.3	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	119
5	CAPITULO V COSTOS Y PRESUPUESTO	
5.1	GENERALIDADES.....	125



5.2.	ANÁLISIS DE COSTO.....	125
5.2.1.	COSTO DIRECTO.....	125
5.2.1.1	MANO DE OBRA.....	125
5.2.1.2	MATERIALES.....	126
5.2.1.3	EQUIPO Y HERRAMIENTAS.....	126
5.2.2.	ANÁLISIS DE COSTO DE LA UNIDAD DE ADOQUÍN.....	126
6	CAPITULO VI ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	129
6.1.1.	INTRODUCCIÓN.....	129
6.1.2.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	130
6.1.3.	SOBRE LOS AGREGADOS.....	130
6.1.3.1.	AGREGADO FINO.....	130
6.1.3.2.	AGREGADO GRUESO.....	131
6.1.4.	SOBRE EL DISEÑOS DE MEZCLA PARA LA ELABORACIÓN DEL ADOQUÍN DE CEMENTO CON ADICION DE EHE.....	132
6.1.4.1.	DISEÑO DE MEZCLA.....	132
6.1.5.	SOBRE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS ADOQUINES DE CEMENTO CON EHE.....	133
6.1.5.1.	DIMENSIONAMIENTO.....	133
6.1.5.2.	DENSIDAD.....	134
6.1.5.3.	ABSORCIÓN.....	134
6.1.5.4.	RESISTENCIA AL DESGASTE.....	135
6.1.5.5.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	135
6.1.6.	SOBRE EL COSTO DE FABRICACIÓN DEL ADOQUÍN CON EHE.....	136
6.1.7.	SOBRE LA UTILIZACIÓN DE UNA MESA VIBRADORA PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES.....	136
6.1.8.	SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL.....	136
6.1.9.	SOBRE LA APLICACIÓN DIDÁCTICA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN... 6.1.9.1 USOS DEL ADOQUÍN..... 6.1.9.2 INFORMACIÓN TÉCNICA.....	137 137 137
6.2.	RELACIÓN DE CUADROS Y GRÁFICOS FINALES.....	138
7	CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1.	CONCLUSIONES.....	142
7.2.	RECOMENDACIONES.....	145
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
	ANEXOS	
	ANEXO A CUADROS DE DISEÑO	
	ANEXO B LISTA DE CUADROS Y FIGURAS	
	ANEXO C PLANOS	
	ANEXO D PANEL FOTOGRAFICO	



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación consiste en el diseño y elaboración de Adoquines de Concreto Vibrado adicionando escoria de horno eléctrico, que son elementos modulares, premoldeados, diseñados para ser utilizados en pavimentación; el cual está orientado a mejorar y proponer unidades constructivas de conveniente comportamiento al tránsito vehicular ligero y peatonal, a través de ajustes de mezclas de concreto, la adición de la escoria de horno eléctrico y la utilización de una Mesa Vibradora Portátil con la finalidad de mejorar las características físico mecánicas.

Para su fabricación sólo se requiere de materiales usuales del concreto, como son la piedra (gravilla 3/8”), la arena gruesa, el cemento, el agua y la adición de la escoria de horno eléctrico como adición para mejorar su resistencia siendo posible su elaboración a pie de obra, evitándose así las actividades de transporte de las unidades terminadas, lo cual significa aspectos favorables para la ejecución de los pavimentos, sobre todo para aquellas obras realizadas por autoconstrucción.

La metodología de la presente investigación consiste primero en partir de un diseño de mezcla base para luego comenzar con la adición de la escoria de horno eléctrico, realizar los ensayos de los agregados y el respectivo control de calidad de los Adoquines de Concreto Vibrado, una vez obtenidos los adoquines adicionar la escoria del horno eléctrico y comparar la nueva resistencia del adoquín tratado, así como también el análisis de los costos unitarios de la unidad y el costo de la capa de rodadura por m² de una pavimentación conformada por adoquines.



Siguiendo con los lineamientos en elaboración de informes de investigación, el siguiente está estructurado en los siguientes capítulos para ayudar al lector en su comprensión:

Capítulo I – Generalidades

Hace referencia a la introducción y generalidades del estudio, en el cual se presenta la formulación del problema y la respectiva hipótesis así como la generación de los objetivos del estudio.

Capítulo II – Marco Teórico

Se refiere al fundamento teórico que busca complementar los conocimientos sobre la escoria y su empleo en pavimentos, así también se mencionan los diferentes métodos de pavimentación.

Capítulo III – Materiales y Métodos

Se muestra la lista de los diferentes materiales utilizados en la presente investigación, además de una descripción detallada de los métodos que nos permitieron llevarla a cabo.

Capítulo IV – Desarrollo de la Investigación Experimental

Se presentan los procedimientos llevados a cabo para el desarrollo de la presente investigación.

Capítulo V – Costos y presupuestos

Se muestra el desglose de gastos para la fabricación de los adoquines y su comparación con el precio de mercado.



Capítulo VI – Análisis y Discusión de Resultados

Se muestran los datos obtenidos de los diferentes ensayos a los que fueron sometidos los adoquines a fin de que cumplan con los estándares de calidad.

Capítulo VII – Conclusiones y Recomendaciones

Comprende las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado luego de analizar los resultados obtenidos a lo largo del presente trabajo de investigación.



Capítulo I

GENERALIDADES



CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La utilización de residuos en la industria de la construcción posibilita la conservación de un gran volumen de recursos naturales al mismo tiempo que permite ahorros considerables de energía. La necesidad de eliminar residuos genera gastos de transformación, almacenaje y disposición final.

Considerando criterios de conservación ambiental, minimización del consumo de recursos naturales y ahorro de energía parece claro la necesidad y conveniencia de estudiar la viabilidad del uso de residuos. Sin embargo la utilización de residuos depende de que estos sean competitivos económicamente frente a los que se utilizan actualmente así como convenientes para los propósitos planeados, es decir, que su estabilidad y durabilidad sobre la esperada vida útil pueda ser asegurada.

Existen varios ejemplos de residuos que han sido incorporados a los materiales de construcción de una forma segura y razonable, la micro sílice, las cenizas volantes y las escorias de alto horno son algunos ejemplos exitosos. En cuanto a las escorias de horno eléctrico vienen siendo utilizadas esporádicamente como material de relleno.

En este trabajo se propone la utilización de escorias de horno eléctrico como adición en la fabricación de adoquín de cemento.



1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Por cuanto se logrará la utilización de la escoria de horno eléctrico, contribuyendo con el desarrollo sostenible de las cadenas productivas del acero, agregando, valor al proceso comercial y mejorando su calidad para mejoras de la comunidad. Al resultar en una alternativa para frenar la depredación de suelos y la contaminación ambiental, producto de la extracción de materias primas realizadas en los procesos de fabricación de los adoquines de cemento, lo cual dicha extracción de materias primas dejan al planeta con escasos recursos naturales que afecta al ecosistema. Por ello se quiere dar utilidad a un sub producto de la siderurgia que no viene siendo aprovechado para generar no solo un producto mejorado en cuanto a sus características físico mecánicas sino también apoyando el cuidamos del medio ambiente.

1.3 VIABILIDAD DEL PROYECTO

Para efecto de viabilidad del proyecto de investigación, se hicieron las consultas necesarias al responsable de la Gerencia de Infraestructura y Desarrollo Urbano de la Municipalidad de Nuevo Chimbote, comunicando que es posible que la comunidad organizada en coordinación con la municipalidad ejecute la pavimentación de sus calles, plazuelas y vías peatonales con Adoquines de cemento adicionando la escoria de horno eléctrico, sean estos prefabricados o autoconstruidos; siempre y cuando estos cumplan con una adecuada resistencia al tránsito peatonal y vehicular.



1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Mejoramiento de las características físico-mecánicas de los adoquines de cemento adicionando escoria de horno eléctrico.

1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los adoquines de cemento según las normas NTP 399.611 y NTP 399.604 de los adoquines fabricados con Escoria de Horno Eléctrico como adición, en distintas dosificaciones.
- Determinar el grado de influencia de la Escoria de Horno Eléctrico como adición, en el cambio de características físico mecánicas de los adoquines, según la proporción empleada.
- Evaluar la viabilidad técnica de la implementación del nuevo proceso de fabricación en nuestra localidad.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, en nuestro medio, se vienen produciendo unidades de albañilería, adoquín de cemento, de fabricación según las normas NTP 399.611 y NTP 399.604. Sin embargo actualmente estos adoquines de cemento que tienen una calidad certificada. No llegan a satisfacer la calidad y durabilidad exigente según las normas NTP 399.611 y NTP 399.604. Siendo esta una situación a superar, surge la idea de incorporar EHE como adición en el proceso de fabricación de los adoquines de cemento en nuestra localidad, determinando las ventajas y desventajas a la que conlleva.

Orientando la presente investigación a dar respuesta a la siguiente interrogante:



¿Qué Dosificación de Escoria de Horno Eléctrico es ideal para mejorar las características físico-mecánicas de los adoquines de cemento según las normas NTP 399.611 y NTP 399.604 en Nuevo Chimbote?

1.5.1. UNIDAD DE ANÁLISIS

Adoquín de Concreto Vibrocompactado adicionando escoria de horno eléctrico.

1.5.2. VARIABLES

Variable Independiente:

- La escoria del horno eléctrico.

Variable Dependiente:

- Calidad físico mecánicas del adoquín de cemento.

1.6 HIPÓTESIS

La adición de EHE mejora las características físicas mecánicas de los adoquines de cemento que se usa en pavimentación de tránsito media.

1.7 ESTRATEGIA DE TRABAJO

1.7.1. MÉTODO DE ESTUDIO

Este trabajo de investigación, se hará tomando datos de los resultados de ensayos en laboratorio, haciendo una comparación de las propiedades físico - mecánicas de los adoquines según las normas NTP 399.611 y NTP 399.604 y los hechos con **EHE**.

1.7.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para la elaboración del presente se tomó como referencia la información bibliográfica referente a la Tecnología del Concreto,



Materiales de Construcción, Normas Técnicas (ASTM, NTP), y además de los estudios realizados que a continuación se menciona:

Tesis: "Utilización de la Escoria de SiderPerú como agregado fino en el mortero", de Rosa Mariela Aramburú García. UNI-1992.

Tesis: "Efecto del uso de escorias de la siderurgia en pavimentaciones de Chimbote y nuevo Chimbote", de Flores Campos Raúl Elías y Lozano Villegas Rogers Michael. UNS-2007.

Tesis: "Mejoramiento de las características Fisicomecánicas de las unidades de albañilería artesanal, ladrillos de cemento con escoria de horno eléctrico como adición en el proceso de fabricación en Nuevo Chimbote", de Morales Avila Edwin Edilberto y Espinoza Matumay Santiago Nicanor. UNS-2012.

1.7.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

En el presente trabajo de investigación se realizaron trabajos de campo como muestreo y reconocimiento de canteras de la Provincia del Santa que explotan los agregados que requerimos, entre ellas la cantera "La Sorpresa" y "La Cumbre"; se realizaron ensayos a los agregados y se elaboraron unidades de adoquines de concreto con los instrumentos adecuados, así también se hizo uso de instrumentos adecuados de recolección de datos en función a documentos oficiales existentes, y se procedió a los diseños correspondientes según las especificaciones técnicas para bloques de concreto, basándose específicamente en la NTP 399.611 y NTP 399.604.



1.7.4. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS, INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la interpretación y análisis de los resultados, se hará uso de los datos obtenidos de los diferentes ensayos a los que fueron sometidos en el laboratorio los adoquines de cemento y los hechos con adiciones de EHE y sus agregados componentes, en función de tablas, gráficos, formulas y cálculos matemáticos.



Capítulo II

MARCO TEÓRICO



CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ESTUDIO DEL ADOQUÍN DE CONCRETO VIBRADO

2.1.1 INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas, la tecnología del concreto ha experimentado notables progresos que bien puede decirse han contribuido a revolucionar, en muchos aspectos, los dominios de la ingeniería estructural. Entre esas innovaciones, el método de compactación mecánica por vibrado constituye un aporte de significativa importancia, cuyo uso tiende a difundirse cada vez más, a tal punto que hoy puede considerársele como práctica normal en todo trabajo donde se requiere un concreto de alta calidad. Es un principio universalmente aceptado que, cuando más reducida es la relación agua – cemento del concreto, mayores son su resistencia, durabilidad y cualidades conexas. Pero la reducción de la relación agua – cemento, mediante el único arbitrio de la disminución del contenido de agua, produce mezclas poco trabajables, de colocación difícil y costosa con los medios manuales comunes; y con el peligro, a veces también, que permanezcan en la masa del concreto, endurecidas porosidades u oquedades que pueden afectar seriamente la resistencia total o parcial, y disminuir de modo considerable la durabilidad y la impermeabilidad de las estructuras. Por tal causa, el uso de concretos secos y consistentes en las estructuras armadas modernas, sólo pudo desarrollarse cuando se descubrió que el vibrado modificaba completamente las propiedades del concreto fresco. Aunque



esta técnica ha sido establecida desde hace unos 20 años y diferentes equipos se han desarrollado desde entonces, la tecnología del concreto ha ampliado continuamente el conocimiento del proceso y perfeccionado su uso, por lo que consideramos de utilidad hacer una somera revisión del vibrado en el concreto, dada la importancia y generalización que cobra en la actualidad su aplicación, en todas las estructuras de concreto simple, armado y pretensado y, especialmente, en la prefabricación.

2.1.2 ADOQUÍN DE CONCRETO VIBRADO

Los Adoquines de Concreto Vibrado son elementos macizos, de espesor uniforme e iguales entre sí, con forma estética y fácil mantenimiento que al colocarlos sobre una superficie encajen unos con otros de manera que solamente queden juntas entre ellos.

Estos elementos se adaptan a un manipuleo manual, especialmente diseñado para su uso en pavimentación, los materiales utilizados para la fabricación de las unidades estarán constituido por Cemento Portland tipo MS, y agregados que cumplan con los requisitos para concretos convencionales, los cuales deberán considerar una relación a/c adecuada a fin de proporcionarles características de durabilidad e impermeabilidad; el equipo necesario para fabricar las unidades lo conforma una pequeña mesa vibradora con sus respectivos moldes metálicos.

La elaboración de los Adoquines de Cemento consiste en obtener una adecuada resistencia con un mínimo contenido de cemento, de modo que sea posible reducir al mínimo el costo del producto, lo peculiar



de la fabricación de las unidades de concreto es que las mezclas pueden ser dosificadas para producir unidades de resistencia variable dentro del mismo tipo de la unidad.

2.1.3 CONCRETO VIBRADO

2.1.3.1 FUNDAMENTO DE LA TEORÍA DE LA VIBRACIÓN

La Vibración es el método de asentamiento práctico más eficaz conseguido hasta ahora, dando un concreto de características bien definidas como son la resistencia mecánica, compacidad y un buen acabado. La vibración consiste en someter al concreto a una serie de sacudidas con una frecuencia elevada, bajo este efecto la masa de concreto que se halla en un estado más o menos suelto según su consistencia, entra a un proceso de acomodo y se va asentando uniforme y gradualmente reduciendo notablemente el aire atrapado, donde la duración de la vibración influye determinantemente en la compacidad del elemento.

Los concretos de consistencia seca son los que dan mayor resistencia pero su aplicación en obras resulta muy difícil por su poca trabajabilidad, la vibración viene a solucionar este problema, permitiendo el empleo de mezclas con asentamientos entre 0" a 1".

2.1.3.2 PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA TEORÍA DE LA VIBRACIÓN

La vibración queda determinada por su frecuencia e intensidad. Frecuencia es el número de impulsiones o pequeños golpes a que se somete el concreto en un minuto. Amplitudes al máximo desplazamiento



de la superficie vibrante entre dos impulsiones. La vibración puede ser de alta o baja frecuencia. Se considera de baja frecuencia valores usuales de 3000 vibraciones por minuto; cuando éstas son iguales o superiores a 6000vibraciones/minuto se consideran en el rango de alta frecuencia. Con este último se logra una mejor compactación: la vibración de baja frecuencia obliga el empleo de mezclas con un mayor relación a/c

Un factor de considerable es el tiempo que dura el proceso de vibración, de la frecuencia de vibración, de la calidad del agregado y de la riqueza en cemento de la mezcla. Al aumentar la frecuencia disminuye el tiempo de vibrado; sin embargo, la vibración muy enérgica y prolongada puede producir efectos desfavorables.

Básicamente la vibración se da por completa cuando la lechada de cemento empieza a fluir a la superficie.

2.1.3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO VIBRADO

2.1.3.3.1 COMPACIDAD

La compacidad del concreto, es la capacidad de acomodamiento que tienen las partículas de los ingredientes sólidos que lo componen, y está definida como la cantidad de materiales sólidos (en volumen absoluto), por unidad de volumen de concreto. Ver Figura 01).

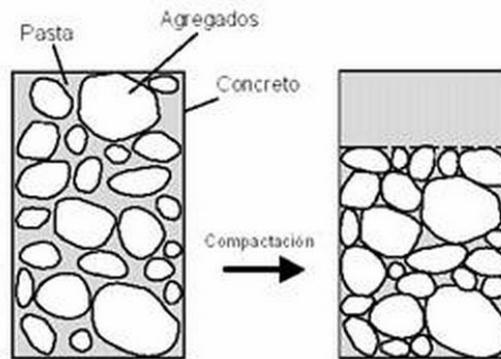


Figura N°01. Compacidad del concreto

2.1.3.3.2 IMPERMEABILIDAD

La impermeabilidad de un concreto es función de su compacidad. La granulometría juega un papel muy importante en la impermeabilidad. Con una granulometría continua y un elevado dosaje de cemento, completados por una enérgica vibración, se obtiene un concreto altamente impermeable.

La absorción de humedad del concreto vibrado es aproximadamente la mitad de la correspondiente al concreto ordinario.

2.1.3.3.3 RESISTENCIA MECÁNICA

La resistencia mecánica del concreto es quizás el factor más importante dentro de las propiedades del mismo. La resistencia del concreto aumenta considerablemente si se aplica una vibración intensa.

La resistencia a la compresión axial NTP 339.034 para testigos de concreto y la NTP 399.604 para adoquines de concreto se determina mediante la aplicación de una fuerza de compresión sobre la unidad en la misma dirección en que trabaja en el pavimento.



2.1.3.3.4 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

La resistencia del concreto vibrado a las acciones extremas se deriva de su propia compacidad y a la calidad de los agregados, los cuales deberán ser sometidos básicamente el agregado grueso al ensayo de abrasión para determinar su buen comportamiento al desgaste; para el caso de los adoquines de concreto estos solo deberán ser ensayados al desgaste para unidades con resistencias superiores a los 560 kg/cm² como lo estipula la norma NTP 399.611 para adoquines tipo III utilizados básicamente para tráfico pesado. La resistencia al desgaste es mayor en el concreto si esta se ve influenciada por una buena compacidad, una buena resistencia a la compresión, y un buen comportamiento de los agregados al desgaste.

2.1.3.3.5 DESMOLDE RÁPIDO

En la elaboración de elementos prefabricados de concreto vibrado, se puede conseguir un desmolde inmediato si el concreto es de granulometría adecuada y se ha amasado con el agua necesaria. Si al efectuar esta operación la pieza se rompe, se puede afirmar que la causa se encuentra en una deficiencia de agua o un exceso de material fino. La rotura puede sobrevenir también al no estar suficientemente consolidado el concreto, es decir, la vibración ha sido de poca duración.

2.1.3.4 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO VIBRADO

- Buena resistencia a las heladas, por tener menos agua de amasado y ser más compacto.



- Desmolde inmediato, si el concreto es de granulometría adecuada, se ha amasado con el agua necesaria y se ha tenido una buena compactación.
- Resistencia al desgaste, es mayor que el concreto compactado manualmente esto debido a su menor contenido de vacíos.
- Buena resistencia a la compresión del concreto vibrado, la cual es mayor que la del concreto compactado manualmente.

2.1.4 ESCORIA METALÚRGICA

2.1.4.1 GENERALIDADES

Escoria es el nombre aplicado al material fundido formado por las reacciones químicas entre la materia prima, los materiales añadidos al horno y las impurezas oxidadas durante el refinado del metal.

La función metalúrgica de las escorias es realizada gracias a su bajo punto de fusión, de su actividad química y de su baja densidad en comparación con la de los metales, la escoria tiene como misión principal atrapar las impurezas y separarlas del metal.

Las escorias pueden ser resultantes de un amplio abanico de procedencias como de la metalurgia del hierro, del acero, del níquel, del manganeso, del cromo, del cobre, etc. Los diversos tipos de escorias tienen funciones semejantes pero varían extensamente en sus propiedades físicas y químicas.



2.1.4.2 CLASIFICACIÓN DE ESCORIAS UTILIZADAS PARA LA CONSTRUCCIÓN.

Las escorias con mayor presencia en la construcción son las provenientes de los procesos de producción del hierro y el acero, cadenas productivas que se han venido realizando por parte de la industria siderúrgica del país, es así que la presente investigación se desarrolla en base a la implementación de la Escoria Oxidante generada como sub producto en la fabricación del acero (Ver Figura N°02).

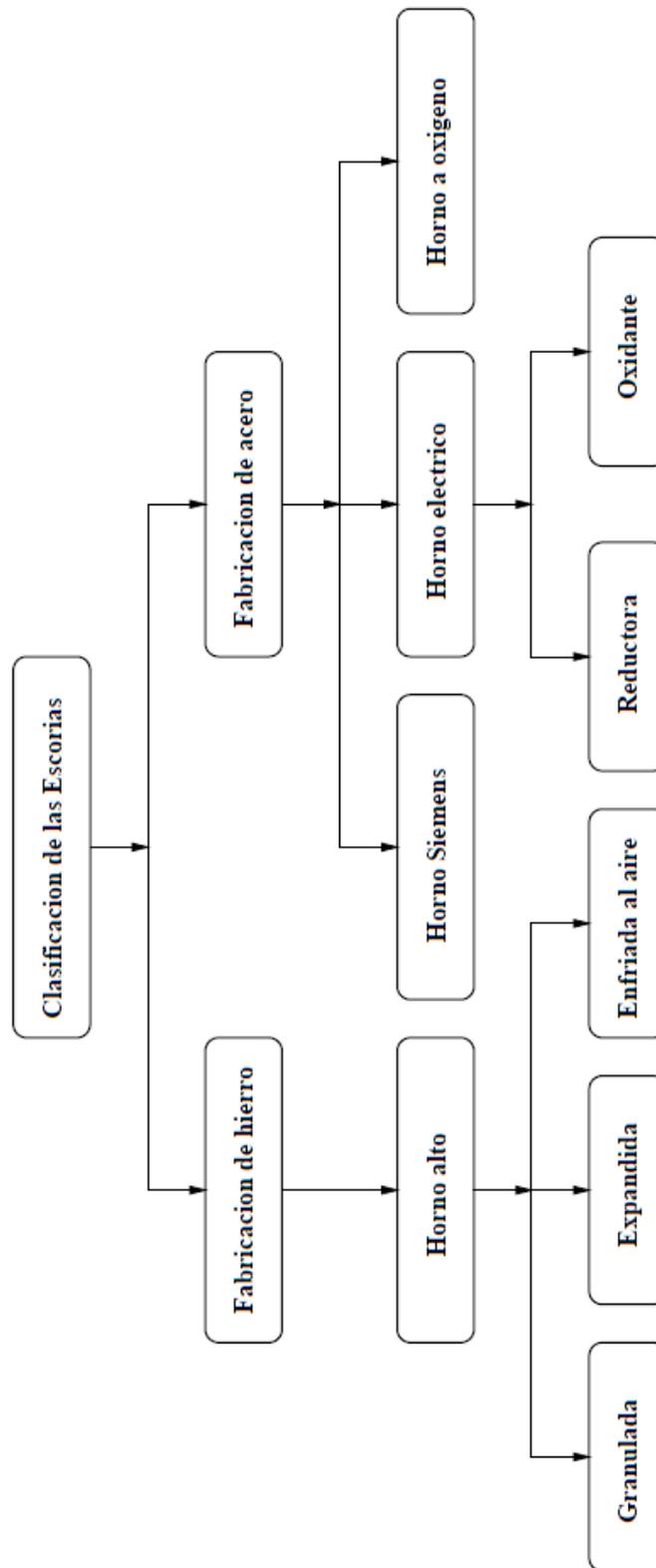


Figura N°02. Esquema de clasificación de escorias

2.1.4.3 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL ACERO DE SIDERPERÚ.

La obtención de acero en el complejo de SIDERPERU puede ser realizado por dos procesos, los cuales son:

- A partir de la reducción del mineral de hierro en el Alto horno.
- A partir de la fusión de chatarra en Hornos eléctricos.

De los cuales actualmente solo se realiza el correspondiente a la fusión de la chatarra en Hornos eléctricos, el que se lleva a cabo en el área de acería. (Ver Figura 03).

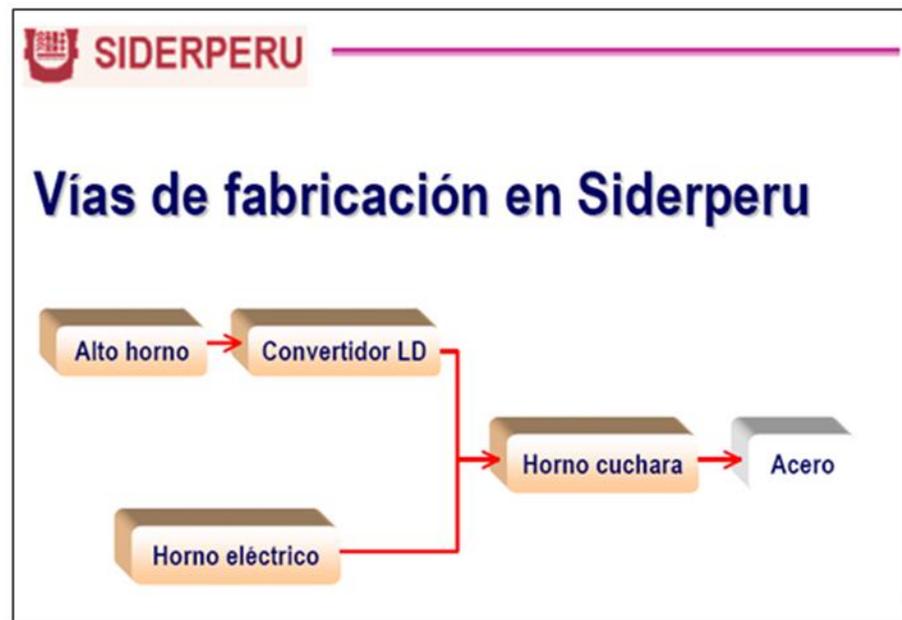


Figura N°03. Vías de fabricación de acero en SiderPerú

Además de ellos procedemos a detallar cada uno de los procesos realizados tanto en Alto Horno como en Hornos Eléctricos para la producción de acero en SiderPerú. (Ver Figura 04 y 05.)

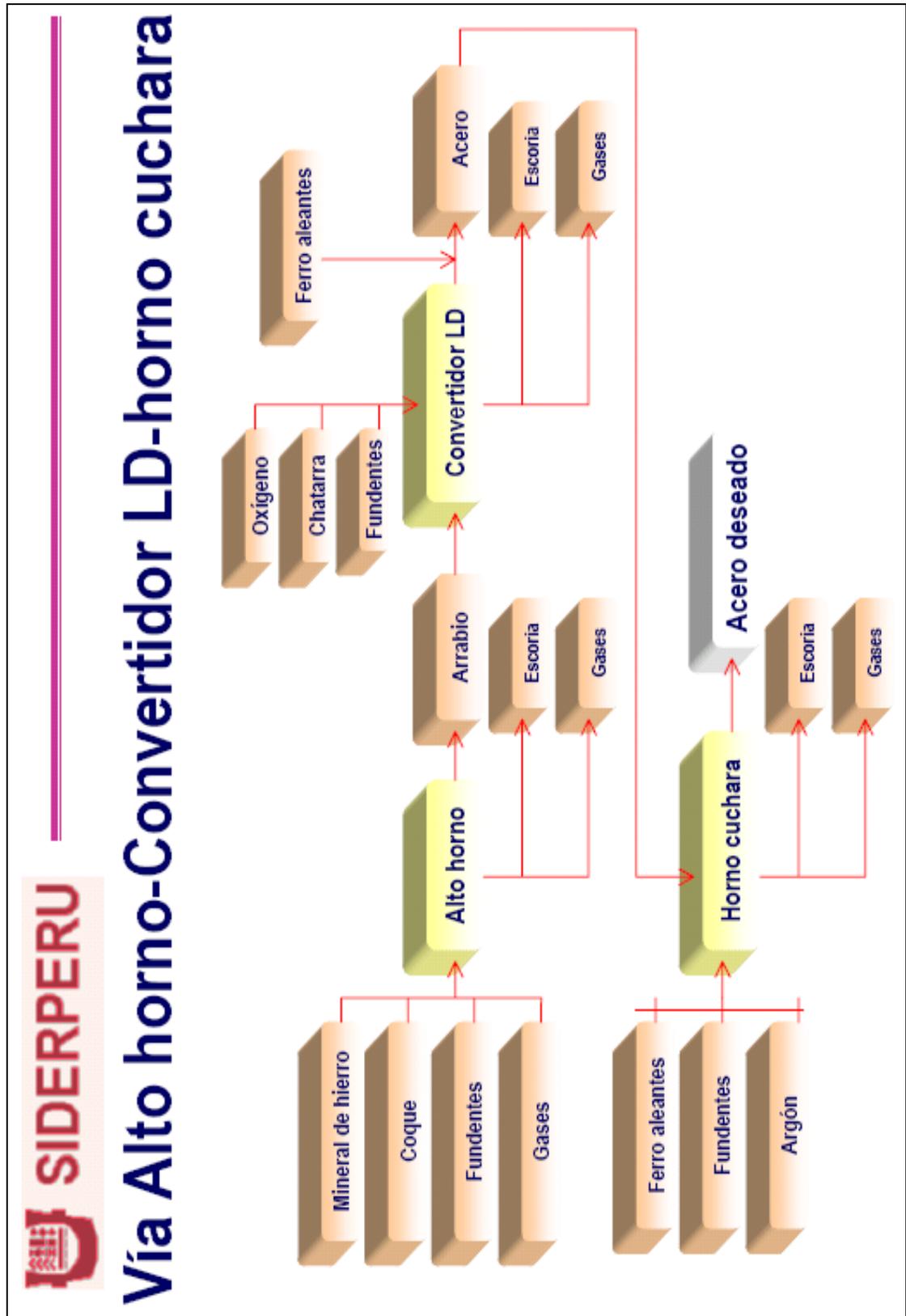


Figura N°04. Fabricación de acero vía Alto Horno.

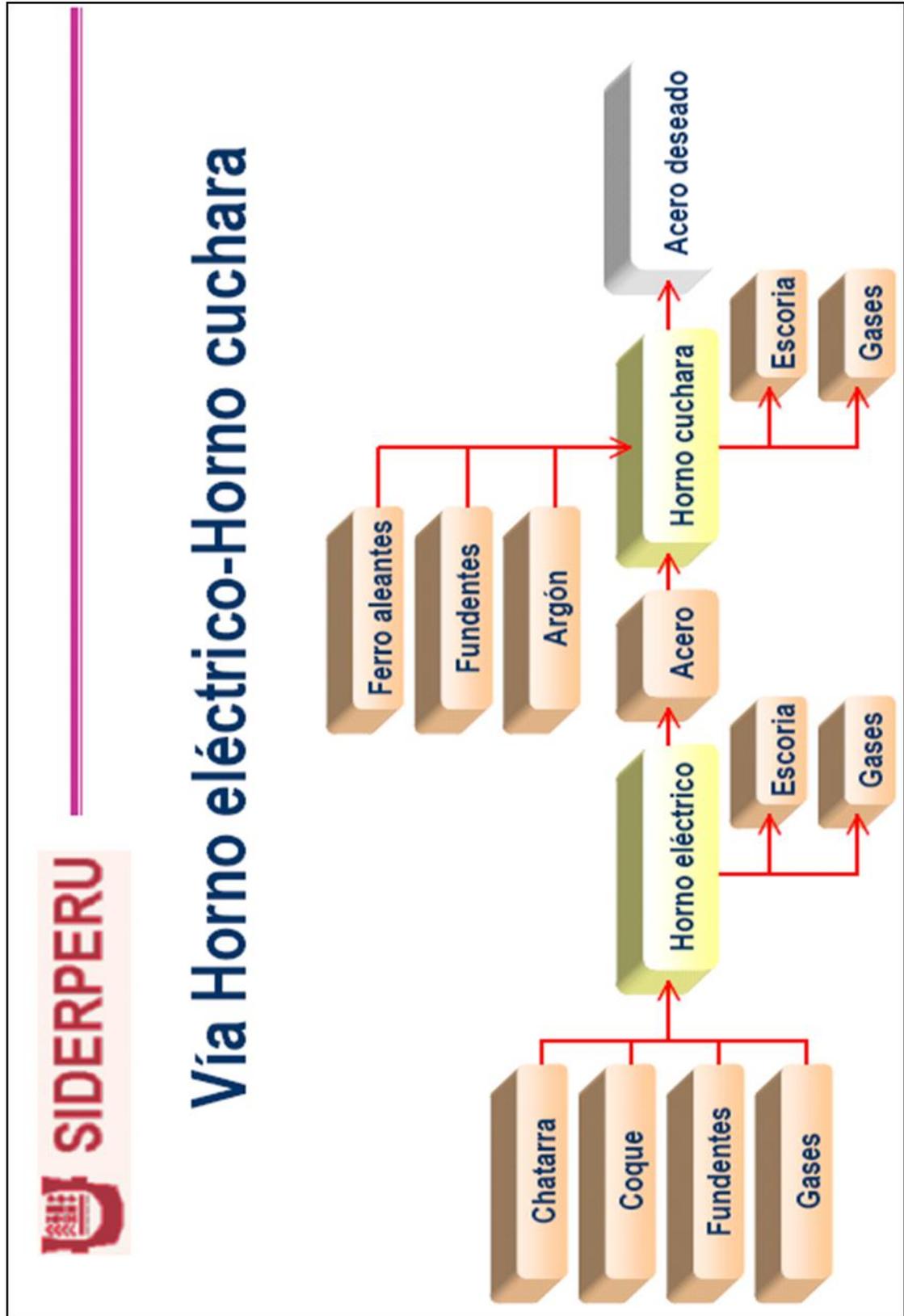


Figura N°05. Fabricación de acero vía Horno Eléctrico.



2.1.4.4 **Proceso de Producción de Acero Vía Horno Eléctrico**

Actualmente SiderPeru trabaja con 2 Hornos Eléctricos de 30 Toneladas de capacidad cada uno. Los hornos eléctricos son equipos de fusión en los que el calentamiento se obtiene por la acción del arco voltaico, el que existe bajo dos formas:

- **Horno de arco indirecto**, el arco se forma entre los electrodos, utiliza corriente monofásica y el calor se transmite por radiación su capacidad es de 50 a 250 Kg. y es utilizado para fundir Cobre, latones y bronce
- **Horno de arco directo**, El arco se forma entre el electrodo y la chatarra, utiliza corriente trifásica es el horno de tipo Heroult (1899), su capacidad es de 0.5 a 400 Ton. El revestimiento puede ser ácido o básico, la longitud de arco que proporciona el máximo rendimiento es regulable.

ETAPAS DE PROCESO:

Son siete etapas:

1. CARGA:

- Debe ser seleccionada y acondicionada de tal manera que permita evitar tiempos largos durante el proceso.
- Debe ser cuidadosamente seleccionada para evitar el ingreso de elementos no oxidables (residuales). (Ver Figura N°06)

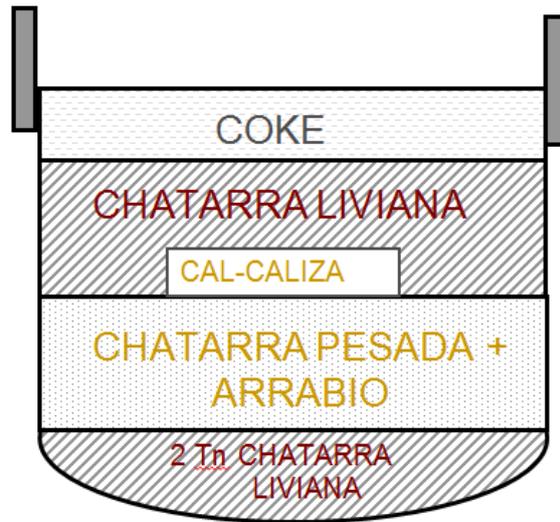


Figura N°06. Acondicionamiento de la Carga en Horno Eléctrico

2. Fusión de la carga

- Hacer cargas complementarias de chatarra liviana de densidad media 0.7 gr./cm³
- Agregar 25 Kg. de cal por tonelada de chatarra y si se utiliza caliza 50 Kg. por tonelada.
- A medida que se va fundiendo la carga los fundidores deben bajar la carga de las paredes con la lanza de oxígeno

3. Etapa de oxidación

- Al final de la etapa de fusión se inicia el periodo de oxidación con la ayuda de mineral de Fe y Oxígeno gaseoso.
- Esta oxidación del Carbono permite que ocurra un "hervido" en el baño, limpiando de esta manera el acero mediante la remoción de gases (N₂, H₂) y la eliminación de las impurezas.
- Es aquí donde se obtiene la Escoria negra con la siguiente composición; CaO/CaF₂/C = 6 / 4 / 2.



4. Etapa de reducción o afino

- Comienza con una pre-desoxidación del baño adicionando pequeñas cantidades de FeMn en el caso de aceros extra dulces y FeSi en aceros con mayor contenido de Si.
- La cantidad de escoria reductora debe ser más o menos el 4% de la carga.
- Es aquí donde se obtiene la escoria blanca con la siguiente composición; $CaO/CaF_2/C = 6 / 2 / 1$.

5. Etapa de adiciones de la cuchara

- Carbono: Si es necesaria una recarburación del acero se realizaran adiciones de polvo de electrodos o coque molido directamente a la cuchara.
- Manganeso: Se podrá adicionar, una parte, al horno después de retirada la escoria oxidante y la otra parte a la cuchara, para ajustar el análisis final.
- Silicio: Solamente deberá ser adicionado a la cuchara.
- Elementos oxidables (Aluminio, Niobio, Titanio, Etc.): Solamente deberán ser adicionados a la cuchara.
- Elementos no oxidables (Cromo, Níquel): Se podrán adicionar una parte al horno y el resto a la cuchara.

6. Etapa de desoxidación

- El objetivo es disminuir el contenido de oxígeno remanente de la etapa de oxidación.

- Los materiales desoxidantes son los siguientes: Aluminio, Calcio-Silicio y Ferro-Silicio, principalmente.
- Debe cuidarse que estas adiciones ingresen directamente al chorro de acero y que no floten sobre la escoria.

7. Etapa de colada

- El análisis químico preliminar y la temperatura antes de colar nos indicarán que la colada está terminada y lista para colar.
- El fundidor debe limpiar la piqueta y controlar que la cuchara este limpia y a la temperatura adecuada (800°C mínimo).
- Las adiciones deben ser realizadas al chorro y cuando se tenga colado de 1/3 a 2/3 del nivel de acero en la cuchara.
- Se debe guardar el siguiente orden:
 - Primero los desoxidantes
 - Segundo las adiciones
 - Tercero los elementos muy oxidables



Figura N°07. Esquema de proceso de producción.



2.1.5 IMPORTANCIA DEL USO DEL ADOQUÍN EN LA PAVIMENTACIÓN

La utilización de adoquines de concreto en pavimentación permite lograr una celeridad de ejecución. Debido a la sencillez del proceso constructivo, toda la estructura del pavimento se puede construir y dar al servicio en un mismo día, por lo cual las interrupciones en el tráfico son mínimas y se logran economías en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales.

2.1.5.1 VENTAJAS DE LA PAVIMENTACIÓN CON ADOQUINES

La capa de rodadura es quizá el elemento más costoso de cualquier pavimento. Cuando se presenta una falla en los pavimentos o cuando hay que instalar o reparar las redes de servicios que van enterrados por la vía es indispensable retirar y con esto destruir las distintas capas del pavimento. Cuando se tiene un pavimento de adoquines la capa de rodadura es recuperable, pues como no van pegados unos con otros se pueden retirar y almacenar ordenadamente para reutilizarlos luego, en el mismo o en otro lugar para la construcción de un nuevo pavimento.

A continuación presentamos algunas ventajas en cuanto a la pavimentación con adoquines:

➤ ***Ventajas relativas a su apariencia.***

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

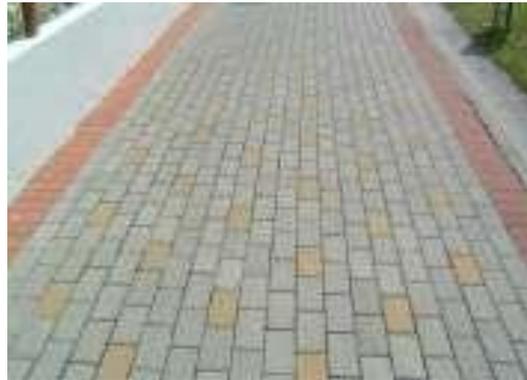


Figura N° 08. Apariencia de un pavimento adoquinado

➤ ***Ventajas relativas a la seguridad.***

Los pavimentos de adoquines se presentan para incorporar señales, o se pueden colocar en medio de otros pavimentos como zonas de aviso para disminución de velocidad o zonas permanentes de velocidad en los vehículos.

Además, por su rugosidad, los pavimentos de adoquines tienen una distancia de frenado menor a otros tipos de pavimentos.

➤ ***Ventajas relativas a la durabilidad.***

Un adoquín, como tal, tiene una vida casi ilimitada. Aunque la estructura del pavimento puede sufrir algún deterioro después de estar en servicio por 20 o más años, con una reparación menor el pavimento de adoquines puede alcanzar una vida útil de 40 años y los adoquines estar todavía en condiciones de servir por muchos más.

➤ ***Ventajas relativas al costo de construcción.***

No requiere de mano de obra especializada.

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



2.1.5.2 DESVENTAJAS DE PAVIMENTAR CON ADOQUINES

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

Si la capa de adoquines queda bien colocada, sellada y compactada no debe perder su sello y su estabilidad ante la caída de lluvias, por copiosas que estas sean; pero nunca se debe poner a trabajar un pavimento de adoquines como canal colector de aguas, que pueda llegar a soportar corrientes voluminosas y rápidas tipo "arroyo".

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

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

2.1.6 ADICIÓN

Material que es integrado o mezclado en cantidades limitadas con cemento hidráulico mientras se fabrica como una "adición de procesamiento" para ayudar en la fabricación y manejo del cemento o como "adición de funcionalidad" para modificar las propiedades de uso del producto final.



La incorporación de las adiciones en mezclas se realizan de dos maneras, "Por reemplazo" y como "Adición propiamente dicha", teniendo siempre como base para su incorporación un porcentaje en peso del cemento, el que sustituirá en parte al cemento o será adicionada al total de la mezcla según sea el caso. Generalmente son materiales sólidos como pigmentos, microsilice, fibras, escorias, caliza, etc. Las que actúan modificando las características del concreto o mortero en estado endurecido, siendo estas las siguientes:

1. Retardo en el desarrollo del calor de hidratación.
2. Incremento de la resistencia inicial y/o final de la mezcla.
3. Disminución de la permeabilidad del concreto.
4. Control de la expansión debida a la reacción alcalí-ágregado.
5. Incremento en las resistencias de impacto y/o abrasión.

Las principales disposiciones normativas de las adiciones son:

ASTM C 618 Adiciones minerales (Puzolanas y Cenizas)

ASTM C 989 Adiciones minerales (Escorias y microsilice)

2.1.7 ESCORIA DE HORNOS ELECTRICOS DE SIDERPERU

2.1.7.1. DEFINICIONES

❖ Escoria:

Es un sub producto no metálico consistente esencialmente de silicatos y aluminio-silicatos de calcio con impurezas de hierro que se obtiene en estado fundido en los altos hornos y de los hornos eléctricos.



❖ **Escoria de los Hornos de Acería (Hornos Eléctricos):**

Es el residuo que se descarta de los Hornos Eléctricos y es llevado a las Canchas de Acería porque no cumple con las condiciones de uso para obtener una máxima desulfuración dentro del proceso de fabricación del acero en estos Hornos Eléctricos.

El exceso contenido de FeO (Óxido de Hierro) en la escoria, la baja basicidad ($\text{CaO} / \text{SiO}_2 < 3.0$), y el exceso contenido de SiO₂ (Dióxido de Silicio), hacen inútil su utilización en procesos de Reducción y Afino.

2.1.7.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El cambio de color de la escoria de negro a blanco indica la cantidad de reducción que ha ocurrido en ésta:

- Negra, alto FeO + MnO (> 2.0%)
- Gris a marrón FeO + MnO (1 a 2%)

Los Ensayos químicos realizados en los Laboratorios de Control de Calidad de SiderPeru, se dio en un promedio de 297 muestras entre los dos Hornos Eléctricos con que cuenta la Planta de acería.

Dando como destino de la muestra las Canchas de Acería.

Luego de los ensayos respectivos se obtuvo los siguientes resultados promedio (ver Anexo I):

- SiO₂ (Dióxido de Silicio) = 21.05 %
- Al₂O₃ (Óxido de Aluminio) = 4.92 %
- CaO (Óxido de calcio) = 35.70 %
- MgO (Óxido de Magnesio) = 10.94 %



- FeO (Oxido Ferroso) = 23.28 %
- MnO (Oxido de Manganeso) = 2.32 %
- TiO₂ (Dioxido de Titanio) = 0.45%
- Sales = 0.00%

2.1.7.3. CARACTERISTICAS FISICAS

La apariencia de una escoria está condicionada por varios factores presentes en el proceso mismo de fundición, de los cuales provienen diferentes características como son:

- Vidriosa y delgada: Alto contenido de SiO₂, es necesaria mucha cal para el proceso en acero.

- Cremosa y gruesa: Es la escoria ideal para el proceso en acero.

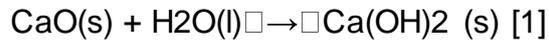
- Quebradiza, frágil y gruesa: Escoria con mucha cantidad de cal, no reactiva.

2.1.7.4. ESTABILIDAD VOLUMETRICA DE LA ESCORIA DE HORNO ELECTRICO.

La estabilidad está asociada principalmente a la hidratación de la cal libre (CaO) y la magnesia (MgO), además de a la corrosión y oxidación del hierro metálico residual, la transformación de fase del silicato dicálcico y la carbonatación del hidróxido cálcico. Estas reacciones son responsables de un considerable aumento de volumen en relación a las dimensiones originales del cristal.

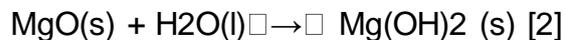
El óxido de calcio libre (CaO) presente en la escoria de acería constituye un factor de inestabilidad volumétrica por su transformación en hidróxido de calcio, que puede causar expansión

al mismo tiempo que disgregación del material. El proceso de hidratación de este material se da según la siguiente ecuación química:



Donde los subíndices indican el estado físico del compuesto: s=sólido, l=líquido.

La utilización de cal dolomítica y el desgaste del revestimiento refractario del horno en el proceso de refinado del acero, son responsables de la presencia de óxido magnésico o magnesia (MgO) en la escoria. Este compuesto, en presencia de humedad se hidrata lentamente formando hidróxido de magnesio o brucita (Mg(OH)_2), conforme la ecuación:



El aumento de volumen del hierro debido a estas reacciones, conforme Mehta y Monteiro (1994), es el que se observa en la siguiente figura:

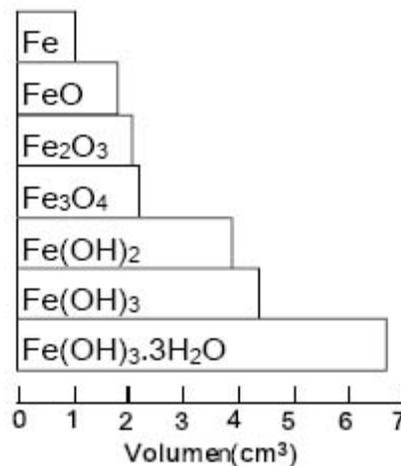


Figura N°09. Aumento del volumen del hierro en función al estado de oxidación.



Por otro lado, los procesos de envejecimiento asociados a la carbonatación juegan un papel muy positivo en el uso del árido siderúrgico porque ayudan a estabilizar ciertas especies químicas como el bario, reduciendo su valor en los lixiviados.

Se concluye así que el grado de envejecimiento de una escoria viene determinado principalmente por la hidratación y la carbonatación.

2.1.7.5. METODO DE TRATAMIENTO DE ESTABILIDAD VOLUMETRICA DE LA ESCORIA SIDERURGICA DE ACERO DE ARCO ELECTRICO.

A lo largo de los años se han ido desarrollado a nivel mundial diversos métodos de tratamiento de la escoria de acería de horno de arco eléctrico para promover la estabilización volumétrica de la escoria, entre los cuales se destacan los siguientes:

- ❖ Envejecimiento de la escoria estocada en rumas expuestas a la intemperie durante un cierto periodo de tiempo, con el objetivo de hidratar el CaO y el MgO libres, formando hidróxidos. En algunos casos se esparce agua sobre las rumas con el fin de acelerar la hidratación del MgO.
- ❖ Envejecimiento acelerado de la escoria a través de la cura al vapor. Este tipo de aceleración del proceso de envejecimiento está siendo muy usado con éxito por algunas siderúrgicas japonesas, aunque supone un aumento muy significativo de los costes de curado.
- ❖ Tratamiento de la escoria líquida a través de la adición de materiales silicosos e inyección de oxígeno, en una cuchara de



escoria separada del proceso de fabricación de acero, de modo que este tratamiento no influya para nada en la calidad del acero producido.

- ❖ Separación de la escoria blanca procedente del horno de afino (que típicamente posee valores más elevados de óxidos hidratables), del resto de escoria, procedente del horno de fusión (escoria negra) y someterla a un estricto control de calidad que evite la presencia de materiales de desecho (refractario, madera, etc.) en el producto final.

La elección de uno de los métodos de tratamiento generalmente depende de varios factores, tales como aspectos operacionales, inversiones necesarias, plazos para la estabilización y requisitos a ser atendidos en cuanto a la estabilidad volumétrica.

2.1.7.6. VOLUMENES DE PRODUCCION DE ESCORIA DE HORNO ELECTRICO.

En cuanto a la producción de escoria en SiderPeru en los últimos años existe una tendencia Ascendente con un promedio mensual de 1,200Tn de Escoria de Acería.

Escoria que después de pasar por un proceso de desmetalización es acumulada en las canchas de acería, sirviendo en algunas ocasiones como relleno dentro de la empresa siderúrgica.

2.1.7.7. CANTIDAD DE ESCORIA DISPONIBLE

Actualmente Sider cuenta con 2 HHEE de 30 toneladas de capacidad cada uno. Y está en proyecto la instalación de un nuevo



horno eléctrico de mayor capacidad, a su vez que esto incrementara aún más la producción de Escoria como desperdicio.

Según datos de la empresa, el total disponible actual aproximado es de **580,000.00 Ton.** De Escoria en las canchas de Acería.

2.1.7.8. IMPACTO AMBIENTAL

Las escorias de acería de horno eléctrico se clasifican como Residuos no Tóxicos ni Peligrosos, tanto en el Catálogo Europeo de Residuos como en la legislación estatal. Es así que las escorias de acería están clasificadas como residuo industrial inerte.

Esta clasificación es coherente con la definición de residuo inerte de la Directiva 1999/31 relativa al vertido de residuos, ya que las escorias de acería “ no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas...” no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana”.

2.1.8 AGUA PARA EL CONCRETO

2.1.8.1 DEFINICIÓN

El papel del agua de mezclado dentro del concreto cumple una vital importancia en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido.



Las normas generalmente recomiendan que si el agua a utilizarse en el concreto es adecuada para beber, entonces se puede asegurar que está libre de materias orgánicas y otras impurezas.

2.1.8.2 LIMITES PERMISIBLES

Hasta la fecha no existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sustancias que pueden presentarse en el agua que va a ser empleada en la preparación y curado del concreto

La NTP 339.088 establece que el agua debe ser de preferencia potable u otra procedencia pero exigiendo los límites que se dan a continuación:

Cuadro N° 01

REQUISITOS PARA AGUA DE MEZCLA – NTP 339.088

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE
Cloruros	300 ppm.
Sulfatos	300 ppm.
Sales de magnesio	150 ppm.
Sales solubles totales	1500 ppm.
pH.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm.
Materia orgánica	10 ppm.



2.1.8.3 AGUAS NO RECOMENDABLES PARA EL CONCRETO

- Aguas calcáreas, tales como las provenientes de desagües de curtiembres.
- Las aguas que contienen ácidos orgánicos no deben ser empleadas por que disminuyen la estabilidad del volumen del concreto.
- No es recomendable emplear como agua de mezclado aquellas cuyo límite de turbidez es mayor a dos mil partes por millón.
- Se debe tener cuidado con el agua de lluvia por que tiende a deslavar la cal del cemento y no deben ser empleadas en la elaboración del concreto.

Los efectos más perniciosos que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, reducción de la resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencia, contribución a la corrosión y cambios volumétricos.

2.1.9 ADITIVOS COLORANTES

2.1.9.1 DEFINICIÓN

Para nuestro trabajo de investigación es necesario el conocimiento del elemento que nos va a permitir darle color al adoquín de concreto con adición de EHE. Los aditivos colorantes se emplean para producir en el concreto el color deseado sin afectar las propiedades de la mezcla.

2.1.9.2 PIGMENTOS O ADITIVOS COLORANTES

Los pigmentos pueden ser naturales o artificiales. Los pigmentos indicados a continuación permiten obtener en el concreto los colores indicados:



- Grises o negros (Oxido negro de hierro: negro mineral o negro carbón)
- Azul (Azul ultramarino)
- Rojo brillante a oscuro (Oxido rojo de hierro)
- Marrón (Oxido marrón de hierro)
- Marfil (Crema, Oxido amarillo de hierro)
- Verde (Oxido de cromo)
- Blanco (Bióxido de titanio)

2.1.9.3 REQUISITOS DEL ADITIVO COLORANTE

Un aditivo colorante debe cumplir los siguientes requisitos:

- Color estable ante la acción de la luz del sol
- Estabilidad química en presencia de la alcalinidad producida por la hidratación del cemento
- Ninguna influencia sobre el tiempo de fraguado o el desarrollo de resistencia.
- Debe recordarse que los pigmentos naturales no producen colores tan vivos como los sintéticos.

2.1.9.4 PORCENTAJE DE ADICIÓN

El porcentaje de adición no deberá exceder el 10% en peso del cemento. Porcentajes menores del 6% tienen poco o ningún efecto sobre las propiedades del concreto fresco o endurecido.

Cantidades mayores al 10% pueden incrementar los requerimientos de agua de la mezcla, afectando la resistencia mecánica



2.2 ESTUDIO DE MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES

A continuación hacemos una descripción de los materiales utilizados para la conformación de la estructura del pavimento como complemento a nuestro trabajo de investigación, el cual esta basado fundamentalmente en el diseño y elaboración de los adoquines vibro compactados adicionando EHE; los cuales van ha ser colocados sobre las diferentes capas de materiales que conforman el pavimento.

2.2.1 DISPOSICIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE AFIRMADOS, SUB BASES, Y BASES GRANULARES

Los materiales para base granular solo provendrán de canteras autorizadas y será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica. En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Los agregados para la construcción del afirmado deberán ajustarse a los siguientes requisitos granulométricos:



Cuadro N° 02.

GRANULOMETRIA PARA AFIRMADOS / AASHTO M-47

Tamiz	Porcentaje que Pasa	
	A1	A2
2"	100	-----
1 1/2"	100	-----
1"	90– 100	100
3/4"	65 – 100	80 – 100
3/8"	45 – 80	65 – 100
N° 4	30 – 65	50– 85
N° 10	22– 52	33– 67
N° 40	15– 35	20– 45
N° 200	5 – 20	5 – 20

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad : 4 - 9 (MTC E 111)
- CBR (1) : 40% mín. (MTC E 132)
- Equivalente de Arena : 20% mín. (MTC E 114)

2.2.1.1 MATERIALES PARA SUB BASES

Estos materiales deben elegirse teniendo en cuenta su capacidad para soportar cargas.



La susceptibilidad al agua y al vapor de agua tiene la misma importancia en todas las regiones; al tener en cuenta los efectos de la humedad, el agua de lluvia, la superficial y la subterránea no son tan importantes como el agua capilar o el vapor de agua condensado frecuentemente recogido bajo los pavimentos.

Los primeros tipos pueden separarse del pavimento normalmente por drenaje, pero las últimas se presentan en casi todas partes, incluso en regiones desérticas; generalmente cualquier material granular no susceptible a las heladas es adecuado para capas de Sub Base si se drena convenientemente y se compacta hasta el 95% de la máxima densidad AASHTO con el contenido óptimo de humedad. El material compuesto para la capa de Sub Base debe estar libre de material vegetal y terrones o bolas de tierra, debe presentar en lo posible una granulometría lisa y continua bien graduada.

En general, se obtendrá una buena Sub Base con materiales que reúnan las siguientes propiedades y requerimientos:



**Cuadro N° 03. GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS
 DE SUB BASE / ASTM D-1241**

TAMAÑO DE MALLA (abertura cuadrada)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA LAS SIGUIENTES MALLAS			
	TIPO I			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100	100	-	-
1 "		75-95	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
N° 4 (4.76mm)	25-55	30-60	35-65	50-85
N° 10 (2.00mm)	15-40	20-45	25-50	40-70
N° 40 (0.42mm)	8-20	15-30	15-30	25-45
N° 200(0.074mm)	2-8	5-15	5-15	8-15

**Cuadro N° 04. REQUERIMIENTOS DE ENSAYOS ESPECIALES
 DE SUB BASE GRANULAR**

ENSAYO	NORMA MTC	NORMA ASTM	NORMA AASHTO	REQUERIMIENTO	
				< 3000 m.s.n.m	>3000 m.s.n.m
Abrasión	E 207	C 131	T 96	50% máx.	50% máx.
CBR (1)	E 132	D 1883	T 193	40% min.	40% min.
Limite Liquido	E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	E 111	D 4318	T 89	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	E 114	D 2419	T 176	25% min.	35% min.
Sales solubles	E 219	-----	-----	1% máx.	1% máx.
Partículas chatas y alargadas	E 211	D 4791	-----	20% máx.	20% máx.



2.2.1.2 MATERIAL PARA BASE GRANULAR

Las exigencias en cuanto a espesor y calidad para capas de base dependen primordialmente del volumen de tráfico y de las cargas máximas por eje y en cierta medida de la calidad de las capas que han de ir sobre ellas. Si los materiales existentes "in situ" cumplen las condiciones que se indican en los apartados siguientes, pueden emplearse como base siempre que se escarifiquen, se mezclen perfectamente con el contenido óptimo de humedad y se compacten de nuevo en el espesor total necesario. Las exigencias en cuanto a compactación de estos materiales deben determinarse tomando como base la especificación AASHTO T-80.

a) TRÁFICO LIGERO

La capa de base debe ser de material clasificado en el cuadro anterior como buena sub-base o mejor. Debe compactarse hasta una densidad no inferior al 95% de la densidad máxima AASHTO, si se ha de aplicar a la superficie un tratamiento superficial, la capa de base debe ser de material clasificado como "base de tipo medio".

b) TRÁFICO MEDIO

La capa base debe ser de material clasificado como "base excelente" debe compactarse hasta conseguir una densidad no inferior al 98% de la densidad máxima AASHTO. La compactación debe realizarse por capas de espesor no superior a 15 cm.



c) TRÁFICO PESADO

La capa de base debe ser de material clasificado como "Base excelente" debe compactarse hasta lograr una densidad no inferior al 100% de la máxima densidad AASHTO.

El material de Base deberá cumplir con las siguientes características físicas, químicas y mecánicas que se indican a continuación:

- CBR mín. 80% para trafico ligero y medio
- CBR mín. 100% para trafico pesado
- Limite Liquido (ASTM D-4318) máx. 25%
- Índice de plasticidad máx. 4 %
- Equivalente a arena (ASTM D-2419) mín. 35 %
- Abrasión (ASTM C-131) máx. 40%
- Granulometría, será la misma que para la Sub-base granular.
- Sales Solubles Totales máx. 1%
- Porcentaje de Compactación del Proctor Modificado (ASTM D-1556) mín. 100%
- Variación en el contenido óptimo de humedad del Proctor Modificado $\pm 1.5\%$.

El material también deberá cumplir con los siguientes requisitos:

El rango de gradación "A" del siguiente cuadro deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.



**Cuadro N° 05. GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS
DE BASE / ASTM D-1241**

TAMAÑO DE MALLA (abertura cuadrada)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA LAS SIGUIENTES MALLAS			
	TIPO I			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100	100	-	-
1 "		75-95	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
Nº 4 (4.76mm)	25-55	30-60	35-65	50-85
Nº 10 (2.00mm)	15-40	20-45	25-50	40-70
Nº 40 (0.42mm)	8-20	15-30	15-30	25-45
Nº 200(0.074mm)	2-8	5-15	5-15	8-15

2.2.2 MATERIAL PARA TERRENO MEJORADO

Todos los materiales que se empleen en el mejoramiento de la subrasante deberán provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas; deberán estar libres de sustancias deletéreas, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales. El material a emplearse como terreno mejorado deberá cumplir como mínimo las siguientes condiciones:

- CBR no inferior a 8.
- Valor portante no inferior a 3 kg/cm² (45 lb/pulg²)
- Limite Líquido no superior a 35.



- Índice de plasticidad no superior a 10 .
- Equivalente de arena no inferior a 25.

2.2.3 MATERIAL ÁRIDO PARA LA CAPA DE SOPORTE DE LOS ADOQUINES

La arena utilizada para la capa de apoyo de los adoquines, será de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y otras sustancias objetables. El uso de un árido inadecuado puede producir el fallo completo del pavimento cuando está sometido a tráfico. El empleo de árido conteniendo finos de carácter plástico inferiores a 75 micras debe evitarse de forma absoluta, pudiendo establecerse como límite un contenido de materia orgánica y arcilla inferior al 3%. Los áridos que cumplan con estos requisitos granulométricos tendrán un rendimiento satisfactorio bajo tráfico, tanto si están húmedos como si están secos.

En cuanto a su nivel de angulosidad, se ha comprobado que los pavimentos realizados con adoquines tienen un mejor comportamiento cuando se han colocado sobre un lecho de áridos angulosos que cuando estos áridos son más redondeados. Esto se debe a que cuanto mayor es la angulosidad de los áridos mayor es su cohesión y por tanto, menor es el riesgo de deformación y arrastre causado por la pequeña cantidad de agua superficial que llega al lecho de árido a través de las juntas entre adoquines.

La granulometría recomendada del árido a emplear debe satisfacer los siguientes requisitos:



Cuadro N° 06.

REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL MATERIAL PARA LA CAPA DE SOPORTE DE LOS ADOQUINES

Malla	% que Pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	90 – 100
2.36 mm (N° 8)	75 – 100
1.18 mm (N° 16)	50 – 95
600 um (N° 30)	25 – 60
300 um (N° 50)	10 – 30
150 um (N° 100)	0 – 15
75 um (N° 200)	0 – 5

Fuente: Ministerio de Transportes (MTC)

2.2.4 MATERIAL ÁRIDO PARA EL SELLADO DE LAS JUNTAS DE LOS ADOQUINES

La arena utilizada para el sello de las juntas de los adoquines será de origen aluvial sin trituración, libre de finos plásticos, materia orgánica y otras sustancias objetables; la arena será lavada y deberá estar libre de materiales orgánicos; esta arena debe estar libre de sales solubles dañinas, u otros contaminantes que pueden provocar la aparición de eflorescencias. Es recomendable emplear arenas lavadas sin exceso de finos, si hay demasiados finos se producirá el vaciado de las juntas con el uso y limpieza del pavimento; además el exceso de finos facilitará su



migración hacia el lecho de árido por arrastre, con idénticas consecuencias no deseables, Su granulometría es la siguiente.

Cuadro N° 07.

REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL MATERIAL PARA EL SELLADO DE LAS JUNTAS DE LOS ADOQUINES

Malla	% que Pasa
2.36 mm (N° 8)	100
1.18 mm (N° 16)	90 – 100
600 um (N° 30)	60 – 90
300 um (N° 50)	30 – 60
150 um (N° 100)	5 – 30
75 um (N° 200)	0 – 5

Fuente: Ministerio de Transportes (MTC)

2.3 DISEÑO DE MEZCLA

2.3.1 INTRODUCCIÓN

La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica del concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes mas adecuados y de la combinación mas conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en estado no endurecido, tenga las propiedades, especialmente trabajabilidad y consistencia deseadas y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador en base al método aplicado.



Para nuestro diseño analizaremos mezclas de concretos de consistencia seca ya que estos son los que dan mayor resistencia pero su aplicación en obras resulta muy difícil por su poca trabajabilidad, donde la vibración viene a solucionar este problema, permitiendo el empleo de mezclas con asentamientos entre 0" a 1".

Así también es importante considerar el aspecto económico en la producción del concreto, pues se deben encontrar las proporciones óptimas de cada componente de tal manera que asegure la calidad y economía para la elaboración de los bloques de concreto.

2.3.2 MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA

En el Perú no existe un método oficial de diseño de mezclas, ello es fundamentalmente debido a la gran diversidad de agregados y a la diversidad de nuestra geografía,

En la construcción se emplean diversos métodos de diseño de mezclas de concreto normal, la mayoría de los métodos de dosificación se basan en el empleo de factores empíricos, como son el Método del American Concrete Institute (ACI), el Método de Walker y el Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados. Para nuestro trabajo de investigación utilizaremos el método ACI de entre los métodos mencionados a continuación.

2.3.2.1 MÉTODO DEL MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

El método consiste en combinar porcentualmente la arena y la piedra en función del módulo de fineza del agregado global. Este método permite



tener un adecuado control del comportamiento del concreto fresco y endurecido, mejorando las características del asentamiento, fraguado y mejorando sensiblemente la compacidad.

Este método no altera la secuencia tradicional de diseño, pero permite controlar las características del concreto desde el diseño prediciendo el comportamiento de la mezcla.

2.3.2.2 MÉTODO ACI

El comité 211 del ACI ha desarrollado unos procedimientos de diseño de mezcla bastante simple el cual se basa en algunas tablas de diseño presentadas en el ANEXO A, las cuales permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

El procedimiento para la selección de las proporciones de materiales es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que cada una de las tablas se indican en ellas, también este método puede ser utilizado en el diseño de concretos pesado y ciclópeo.

2.3.2.3 MÉTODO DE WALKER

Este método se diferencia del método del ACI en que primero se calcula el contenido de agregado fino y, por diferencia con la suma de volúmenes absolutos del cemento, agua, contenido de aire, se calcula el contenido de agregado grueso.

Este procedimiento garantiza una mejor relación entre el agregado fino y grueso en la mezcla de concreto.



La secuencia de diseño es similar a la de los otros métodos, como se ha mencionado la única diferencia radica en la forma de calcular el porcentaje de agregado fino.

2.3.3 SECUENCIA DE DISEÑO

Independientemente del procedimiento de diseño seleccionado los siguientes pasos se consideran fundamentales en el proceso de selección de las proporciones de la mezcla para alcanzar las propiedades deseadas en el concreto.

- Estudiar cuidadosamente los requisitos que señalan las especificaciones técnicas del proyecto a desarrollar.
- Seleccionar la resistencia promedio requerida para obtener la resistencia de diseño especificada por el proyectista.
- Seleccionar en función de las características del elemento a diseñar el tamaño máximo nominal del agregado.
- Elegir la consistencia de la mezcla y expresarla en función del asentamiento de la misma
- Determinar el volumen de agua de mezclado por unidad de volumen de concreto, considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire, incorporado o atrapado, en la mezcla.
- Determinar el porcentaje de aire atrapado o el de aire total, según se trate de concretos normales o de concretos en los que expresamente, por razones de durabilidad, se ha incorporado aire, mediante el empleo de un aditivo.



- Seleccionar la relación agua cemento requerido para obtener la resistencia deseada en el elemento estructural. Se tendrá en consideración la resistencia promedio seleccionada y la presencia o ausencia de aire incorporado.
- Seleccionar la relación agua cemento requerido por condición de durabilidad.
- Seleccionar la menor de la relación de agua cemento elegido por resistencia y durabilidad.
- Determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto, en función del volumen unitario de agua y de la relación agua cemento seleccionada.
- Determinar las proporciones relativas de los agregados fino y grueso y la adición de escoria. La selección de la cantidad de cada uno de ellos en la unidad cúbica de concreto está condicionada al procedimiento de diseño seleccionado.
- Determinar, empleando el método de diseño seleccionado, las proporciones de la mezcla, considerando que el agregado esta en estado seco y que el volumen unitario de agua no ha sido corregido por humedad del agregado.
- Corregir dichas proporciones en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados fino y grueso.
- Ajustar las proporciones seleccionadas de acuerdo a los ensayos de la mezcla realizados en el laboratorio.



- El siguiente paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados, el agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.
- El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba, en las que se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el revenimiento y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el revenimiento, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto el informe ACI 211.1-91 proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.



Capítulo III

MATERIALES Y METODOS



CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES COMPONENTES DEL ADOQUÍN ADICIONANDO ESCORIA.

3.1.1 CEMENTO PÓRTLAND

3.1.1.1 DEFINICIÓN

El Cemento Pórtland es un aglomerante que se define como el producto obtenido por la pulverización del Clinker Pórtland con la adición eventual de Sulfato de Calcio, al cual se le adicionan otros productos que no excedan el 1% en peso total, siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deberán ser pulverizados conjuntamente con el Clinker; que viene ha ser el producto constituido en su mayor parte por Silicato de Calcio, obtenido por la cocción hasta fusión parcial (clinkerización) de una mezcla conveniente, proporcionada y homogeneizada de materiales debidamente seleccionados.

3.1.1.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales en que intervienen son:



Cuadro N° 08.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO PORTLAND

%	COMPONENTE QUÍMICO	PROCEDENCIA USUAL
95% <	Oxido de Calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Oxido de Sílice (SiO ₂)	Arenisca
	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, pirita
5% <	Oxido de Magnesio, Sodio, Potasio, titanio, azufre, Fósforo y magnesio	Minerales Varios

Cuadro N° 09.

PORCENTAJES TÍPICOS DE ÓXIDOS COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

Compuesto	Porcentaje	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO ₂	20% - 27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1% - 3%	
MgO	1% - 5%	M
K ₂ O y Na ₂ O	0.25% - 1.5%	



3.1.1.3 CEMENTO PORTLAND PACASMAYO TIPO MS

El Cemento Pórtland Pacasmayo tipo MS se fabrica para zonas de trabajo donde existe un moderado ataque de los sulfatos. Este será el cemento que se utilizará para el desarrollo de la tesis de investigación, este tipo de cemento está siendo utilizado en nuestra ciudad para elementos estructurales en contacto con el terreno, pavimentos de concreto, cisternas, bloques de concreto prefabricados, etc.

Cuadro N° 10.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y LÍMITES PERMISIBLES DEL CEMENTO PORTLAND

ELEMENTO	UND	REQUISITOS	REQUISITOS
		ASTM C-150 NTP 334.009	ASTM C-595 NTP 334.044
SO ₃	%	2.30 a 3.50	Máx. 4.00
MgO	%	Máx. 6.00	Máx. 5.00
P. Ignición	%	Máx. 3.00	Máx. 5.00
R. Insolubles	%	Máx. 3.50	-



Cuadro N° 11.

PORCENTAJES DE ÓXIDOS DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS

COMPONENTES	% DE ÓXIDOS
Oxido de Sílice: SiO ₂	20.50%
Oxido de Hierro: Fe ₂ O ₃	5.14%
Oxido de Aluminio: Al ₂ O ₃	4.07%
Oxido de Calcio: CaO	62.92%
Oxido de magnesio: MgO	2.10%
Oxido de Azufre: SO ₃	1.83%
Perdida por Calcinación: P.C	1.93%
Residuo Insoluble: R.I	0.68%
Cal Libre: CaO	1.10%
Álcalis: Na ₂ O	0.22%
Silicato Tricálcico: C ₃ S	44.70

3.1.2 AGREGADO FINO

3.1.2.1 DEFINICIÓN

Definiéndose como aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas. Está comprendido por todos los tamaños que pasan por la malla 3/8" y quedan retenidas en la malla N° 200. Para ser utilizado en la proporción de concreto deberá cumplir con ciertas propiedades físicas controladas por normas de calidad.



3.1.2.2 PROPIEDADES FÍSICAS

El agregado fino a utilizarse en el concreto debe cumplir ciertos requisitos mínimos de calidad según las especificaciones técnicas de la norma técnica peruana NTP.

La determinación de estos requisitos denominadas propiedades físicas nos permitirá obtener valores que serán utilizados para los diseños de mezclas del concreto a estudiar, donde las propiedades físicas a determinar son: peso específico, peso unitario, granulometría, módulo de finura, porcentaje de finos que pasa la malla N° 200, contenido de humedad y absorción. A continuación presentamos las propiedades físicas estudiadas.

3.1.2.2.1. PESO ESPECÍFICO

N.T.P. 400.022

ASTM C 128

El peso específico de los agregados, adquiere importancia en la construcción cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite; además, el peso específico es un indicador de la calidad, en cuanto a los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que un peso bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en que es recomendable efectuar otras pruebas adicionales.

Aplicado a agregados, el concepto de peso específico se refiere a la densidad de las partículas individuales y no a la masa del agregado como un todo.



El peso específico del agregado fino según las especificaciones técnicas está comprendido dentro de los límites de 2.4 á 2.8 gr/cm³.

$$\text{Peso Específico Nominal} = \frac{A}{B+A+C}$$

Cuadro N° 12.

PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO

1	A= PESO DE LAMUESTRA SECA	172.583 gr
2	B=PESO DE LAFIOLA +AGUA	638 gr
3	C=PESO DE FIOLA + A + AGUA	747 gr
4	PESO ESPECIFICO NOMINAL	2.71 gr

3.1.2.2.2 PESO UNITARIO

N.TP. 400.017

ASTM C 29

Se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, al peso que alcanza un determinado volumen unitario establecido, considerando los vacíos que se encuentran en su interior. Generalmente se expresa en kg/m³.

El peso unitario depende de ciertas condiciones intrínsecas de los agregados, tales como su forma, tamaño y granulometría, así como el contenido de humedad; también depende de factores externos como el grado de compactación impuesto, el tamaño máximo del agregado en relación con el volumen del recipiente, la forma de consolidación, etc.

El peso unitario se expresa en dos formas: el suelto y el compactado.



Cuadro N° 13.

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO

Procedimiento	Muestra			Promedio
	1	2	3	
Peso muestra Suelta + Vasija (Kg)	6.294	6.288	6.266	
Peso de la Vasija (Kg)	1.976	1.976	1.976	
Peso de la Muestra Suelta (Kg)	4.318	4.312	4.29	
Volumen de la Vasija (m ³)	0.0027	0.0027	0.0027	
Peso Aparente Suelto (Kg/m ³)	1599.26	1597.04	1588.89	1595

3.1.2.2.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D 2216

Este valor indica el porcentaje de agua que posee el agregado y se obtiene al determinar el contenido de agua de una muestra secada al horno a 110°C, entre el peso del material en estado natural y a este cociente se multiplica por 100.

Los agregados usualmente son considerados en un estado saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos y llenos de agua y libre de humedad superficial, siendo una condición ideal para fines prácticos y de diseño de dosificación ya que se supone que los agregados no añaden ni quitan agua a la mezcla.



Cuadro N° 14.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

Procedimiento	Muestra
	1
1. Peso Tara, [gr]	27.47
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	169.68
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	169.11
4. Peso Agua, [gr] (2)-(3)	0.57
5. Peso Suelo Seco, [gr] (3)-(1)	141.64
6. Contenido de Humedad, [%] (4)/(5)X100	0.40

3.1.2.2.4 ABSORCIÓN

N.T.P. 400.022

ASTM C 128

Los agregados presentan poros internos, los cuales se conocen como abiertos cuando son accesibles al agua o humedad exterior sin requisito de presión. La absorción es la capacidad del agregado de absorber el agua al contacto con él.

Se entiende por absorción al contenido de humedad total interna de un agregado que está en la condición de saturado superficialmente seco.

La capacidad de absorción del agregado se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y secada superficialmente. Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto.



Cuadro N° 15.

ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Procedimiento	Muestra
	1
1. Peso Tara, [gr]	23.06
2. Peso Tara + muestra, [gr]	177.87
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	176.24
4. Peso Agua, [gr] (2)-(3)	1.63
5. Peso Suelo Seco, [gr] (3)-(1)	153.19
6. Contenido de Humedad, [%] (4)/(5)X100	1.07

3.1.2.2.5 GRANULOMETRÍA

N.T.P. 400.012

ASTM C 33

Se define como granulometría a la distribución por tamaños de las partículas del agregado, ello se logra separando el material por procedimiento mecánico. En la práctica no existe ningún método que permita llegar a una granulometría ideal aplicable en todos los casos a todos los agregados; sin embargo, se han desarrollado especificaciones de granulometría las cuales, en promedio permitirán obtener concretos de propiedades satisfactorias a partir de materiales disponibles en una área determinada.

Esta propiedad caracteriza al agregado en base a la densidad de tamaños de sus partículas que lo conforman, analizándose mediante su separación en fracciones, cribándola a través de las mallas normalizadas (serie estándar). La importancia de esta propiedad es que de acuerdo a la forma como están distribuidos sus tamaños tienen influencia directa sobre el comportamiento del concreto fresco y endurecido.



3.1.2.2.6 CURVA GRANULOMÉTRICA

La curva granulométrica es una excelente ayuda para mostrar la granulometría de los agregados individuales y combinados; el ploteo logarítmico es conveniente dado que, en una serie de tamices con aberturas con una relación constante, los puntos que representan los resultados del análisis al ser unidos forman la curva granulométrica del agregado.

Cuadro N° 16

REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS / ASTM C-33 (AGR. FINO)

Malla	% que Pasa
3/8"	100
N° 4	95 – 100
N° 8	80 – 100
N° 16	50 – 100
N° 30	25 – 60
N° 50	10 – 30
N° 100	2 - 10



Cuadro N° 17

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FNO

TAMIZ		Peso Neto de Agregado Fino = 1429 gr				
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acum.	% que pasa	¿Cumple las normas A.S.T.M.?
3/8"	9.5	0	0.0	0.0	100.0	SI CUMPLE
Nº 4	4.75	2	0.1	0.1	99.9	SI CUMPLE
Nº 8	2.36	52	3.6	3.8	96.2	SI CUMPLE
Nº 16	1.18	359	25.1	28.9	71.1	SI CUMPLE
Nº 30	0.59	350	24.5	53.4	46.6	SI CUMPLE
Nº 50	0.295	274	19.2	72.6	27.4	SI CUMPLE
Nº 100	0.15	258	18.1	90.6	9.4	SI CUMPLE
Nº 200	0.074	98	6.9	97.5	2.5	SI CUMPLE
cazuela	0	36	2.5	100.0	0.0	
Peso Total (gr) =		1429	100.0			

MODULO DE FINEZA =	2.4941
¿El M.F. cumple las normas A.S.T.M.?:	SI CUMPLE

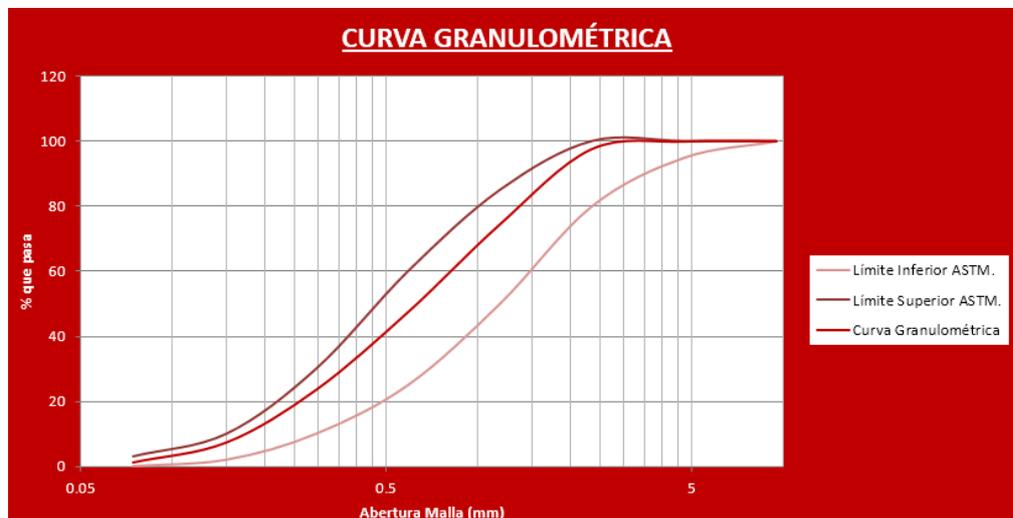


Figura N°10. Grafica granulométrica del agregado fino.



3.1.2.2.7 MÓDULO DE FINEZA

N.T.P. 400.011

ASTM C 125

Es un índice aproximado y representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra de arena, se usa para controlar la uniformidad de los agregados.

Según la Norma ASTM la arena debe tener un Módulo de Fineza no menor a 2.3 ni mayor que 3.1.

Las arenas que presentan un módulo de fineza inferior a 2.30 se consideran demasiadas finas e inconvenientes para el concreto porque suelen requerir mayor consumo de cemento, lo cual repercute en el aspecto económico y en los cambios volumétricos. Si son mayores a 3.10 resultan demasiado gruesas y también se les juzga inadecuadas ya que producen mezclas ásperas y segregable.

El módulo de fineza se calcula como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas N° 4, 8, 16, 30, 50, 100 dividido entre 100.

3.1.2.2.7 MATERIAL FINO QUE PASA LA MALLA N° 200 / NTP 400.018

Este ensayo nos permite determinar en porcentaje la cantidad de material de tamaño menor que la Malla N° 200, que se encuentra adherido a las paredes del agregado o que se encuentra como material suelto mezclado con el agregado fino.

El material muy fino constituido por arcilla y limo, se presenta recubriendo el agregado grueso o mezclado con la arena.



3.1.3 AGREGADO GRUESO

3.1.3.2 DEFINICIÓN

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (Nº 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, que cumple con los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana 400.037.

3.1.3.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS PARTÍCULAS

El agregado grueso podrá consistir de partículas de roca partida, grava natural o triturada, o agregados metálicos naturales o artificiales, el agregado grueso estará conformado por fragmentos cuyo perfil será preferentemente angular o semiangular, limpios, duros, compactos, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libre de material escamoso, materia orgánica, partículas blandas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, sales o otras sustancias dañinas.

3.1.3.4 PROPIEDADES FÍSICAS

Los agregados gruesos para que puedan ser utilizados en la preparación de concreto, deben cumplir con los requerimientos mínimos que especifican las normas de control.

3.1.3.3.1. PESO ESPECÍFICO

N.T.P. 400.021

ASTM C 127

Esta propiedad es un indicador de la calidad del agregado, los valores comprendidos entre 2.5 a 2.8 gr/cm³ corresponden a agregados de buena calidad, mientras que valores menores que el indicado son de



mala calidad (porosos, débiles y absolutamente con mayor contenido de humedad).

Peso específico: 2.85 gr/cm³

3.1.3.3.2 PESO UNITARIO

N.T.P. 400.017

ASTM C 29

El peso unitario de un agregado es el peso de un volumen establecido, considerando los vacíos que se encuentran en su interior; se expresa en kg/cm³.

Los valores para agregados normales varia entre 1500 y 1700 Kg/m³. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados, y en caso de proporcionarse el concreto por volumen.

Se determinan dos pesos aparentes o unitarios: Pesos Unitarios Compactado y el Peso Unitario Suelto.

Cuadro N° 18

PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO

Procedimiento	Muestra			Promedio
	1	2	3	
Peso muestra Suelta + Vasija (Kg)	21.120	21.193	21.215	
Peso de la Molde (Kg)	3.610	3.610	3.610	
Peso de la Muestra Suelta (Kg)	17.510	17.583	17.605	
Volumen de la Vasija (m ³)	0.009	0.009	0.009	
Peso Aparente Suelto (Kg/m ³)	1945.777	1953.889	1956.334	



Cuadro N° 19

PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO

Procedimiento	Muestra			Promedio
	1	2	3	
Peso muestra Suelta + Vasija (Kg)	19.975	19.912	19.888	
Peso de la Molde (Kg)	3.610	3.610	3.610	
Peso de la Muestra Suelta (Kg)	16.365	16.302	16.278	
Volumen de la Vasija (m ³)	0.009	0.009	0.009	
Peso Aparente Suelto (Kg/m ³)	1818.607	1811.606	1808.939	1813

3.1.3.3.3. CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D 2216

Es la cantidad de agua que contiene el agregado grueso. Esta propiedad es importante porque de acuerdo a su valor (en porcentaje) la cantidad de agua en el concreto varía.

También se define como la diferencia entre el peso del material natural y el peso del material secado en horno (24 hrs.), dividido entre el peso natural del material, todo multiplicado por 100.

Cuadro N° 20

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

Procedimiento	Muestra
	1
1. Peso Tara, [gr]	27.28
2. Peso Tara + Suelo Húmedo, [gr]	124.55
3. Peso Tara + Suelo Seco, [gr]	124.08
4. Peso Agua, [gr] (2)-(3)	0.47
5. Peso Suelo Seco, [gr] (3)-(1)	96.79
6. Contenido de Humedad, [%] (4)/(5)X100	0.49



3.1.3.3.4. ABSORCIÓN

N.T.P. 400.021

ASTM C 127

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser secado en el horno a temperatura constante (110 °C), y luego sumergido 24 horas en agua.

La absorción de un agregado se indica por el porcentaje total de agua interna que le es necesario tomar para llegar a la condición de saturado con superficie seca, que es la condición de equilibrio.

Es una medida de la porosidad del agregado y su valor máximo permite saber cuanto de agua tomara de la mezcla del concreto.

Cuadro N° 21

ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

Procedimiento	Muestra
	1
1. muestra, [gr]	1512.00
2. Suelo Seco, [gr]	1500.00
3. Peso Agua, [gr] (2)-(3)	12.00
4. Peso Suelo Seco, [gr] (3)-(1)	1500.00
5. Contenido de Humedad, [%] (4)/(5)X100	0.80

3.1.3.3.5. GRANULOMETRÍA

N.T.P. 400.037

ASTM C 33

La Granulometría se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de los agregados, la cual deberá ser preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una



adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

Para nuestro trabajo de investigación utilizaremos agregados con un tamaño máximo nominal de 3/8", la distribución de los agregados gruesos deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la Norma, los cuales están indicados en el Cuadro N° 2.8.

4 **Tamaño Máximo**

Es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

5 **Tamaño Nominal Máximo**

Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada, que produce el primer retenido.

Cuadro N° 22.

REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS ASTM C-33 PARA EL AGREGADO GRUESO

Tamaño Nominal	% que pasa por los tamices normalizados						
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16
3/4" a Malla 3/8"	100	90-100	20-55	0-15	0-5		
3/4" a Malla N° 4	100	90-100		20-55	0-10	0-5	
1/2" a Malla N° 4		100	90-100	40-70	0-15	0-5	
3/8 a Malla N° 4			100	85-100	10-30	0-10	0-5



Cuadro N° 23.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ		Peso Neto de Agregado grueso = 2000 gr				
Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acum.	% que pasa	¿Cumple las normas A.S.T.M.?
1/2"	12.7	0	0.0	0.0	100.0	SI CUMPLE
3/8"	9.5	1	0.1	0.1	100.0	SI CUMPLE
Nº 4	4.75	990	49.5	49.6	50.5	NO CUMPLE
Nº 8	2.36	982	49.1	98.7	1.3	SI CUMPLE
Nº 16	1.18	24	1.2	99.9	0.1	SI CUMPLE
cazuela	0	3	0.2	100.0	0.0	
Peso Total (gr) =		2000	100.0			

3.1.3.4. PROPIEDADES MECÁNICAS

3.1.3.4.1. DESGASTE O ABRASIÓN

ASTM C 131

En la mayoría de las normas sobre agregados a nivel internacional se establecen pruebas de desgaste o abrasión, siendo la más generalizada el denominado Ensayo Los Ángeles, el cual fundamentalmente consiste en colocar una muestra de agregado con granulometría específica en un cilindro rotatorio horizontal, conjuntamente con un número de esferas de acero, aplicando al tambor un número dado de vueltas. El porcentaje de material fragmentado constituye un indicador de calidad.

El ensayo de Los Ángeles esta normalizado por la ASTM, existiendo dos métodos de ensayo que corresponden a agregados gruesos mayores de 3/4" que comprenden tamaño hasta de 3" (ASTM C-535) y para agregados menores de 1 1/2" (ASTM C-131)

El agregado que va a ser empleado en concretos para pavimentos, pisos o estructuras sometidos a abrasión y/o erosión no deberá tener una pérdida mayor del 50% en el ensayo de abrasión realizado de acuerdo a las normas ASTM indicada.



Las cantidades a emplear y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso. De acuerdo a esto existen los requisitos granulométricos, que se indican a continuación.

Cuadro N° 24.

REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS / ASTM C-33 (DESGASTE)

DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A USAR EN GRAMOS			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
25.0.5mm (1")	19.0mm (3/4")	1250±25			
19.0mm (3/4")	12.5mm (1/2")	1250±25	2500±10		
12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	1250±25	2500±10		
9.5mm (3/8")	6.3mm (1/4")			2500±10	
6.3mm (1/4")	4.75mm (N° 4)			2500±10	
4.75mm (N° 4)	2.36mm (N° 8")				5000±10
Peso total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
N° Esferas		12	11	8	6
N° Revoluciones		500	500	500	500
Tiempo de rotación minutos		15	15	15	15

Una vez seleccionada la gradación adecuada se procede a realizar el ensayo, la diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra de ensayo, se expresa como porcentaje del peso original. Este valor se toma como el porcentaje de desgaste.

$$D (\%) = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

En donde:

- **P1** : Peso Inicial.
- **P2** : Peso Final.



- **D** : Es el Desgaste en Porcentaje.

Donde

Se utilizó el método c.

Cuadro N° 25.

ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Procedimiento	Muestra
	1
1. Peso Tara, [gr]	262.00
2. Peso muestra inicial [gr]	5000.00
3. Peso de muestra retenida malla No 12	4582.00
4. Peso de muestra retenida sin tara	4320.00
5. desgasteen porcentaje	13.60

3.1.4 ESCORIA DE HORNOS ELECTRICOS DE SIDERPERU

3.1.4.1 ESCORIA DE HORNO ELECTRICO

La escoria empleada fue una escoria previamente desmetalizada, siendo el proceso de des metalización el que se lleva a cabo mediante el chancado y posterior traslado de la escoria sobre una faja transportadora magnetizada, la cual atrapa partículas de escoria con alto porcentaje de metales así como residuos de metales propiamente dichos, desechando la Escoria Negra de Horno Eléctrico Desmetalizada, para ser almacenada en las canchas de acería.

Además del proceso de desmetalización realizado en planta se realizó la limpieza de la escoria en laboratorio, limpieza que consistió en retirar trozos de metales, vidrios, ladrillos, entre otros, los que



se mezclaron con la escoria en el proceso de acumulación en canchas de acería así como en el proceso de carguío de la muestra.

3.1.4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C-136, NPT 400.037)

Siempre deberá efectuarse el análisis granulométrico a fin de determinar la proporción de agregados fino y grueso presente en el agregado integral. Las características físicas se determinan teniendo en consideración el porcentaje de cada uno de los agregados componentes por medio de tamices de abertura cuadrada, de forma sucesiva de mayor a menor abertura.

Procediendo de la siguiente manera:

- Se realiza el cuarteo de la muestra global.
- Se seca al horno por 24 horas a una temperatura de 110 ° C.
- Se pasa el agregado por los tamices ordenados de mayor a menor abertura, y se agita el tiempo necesario.



Cuadro N° 26.

GRANULOMETRÍA DE LA EHE DESMETALIZADA

tamiz	Peso Retenido (gr)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	% que pasa
3/4"	0	0.000	0.000	100.000
1/2"	270	9.153	9.153	90.847
3/8"	542	18.373	27.525	72.475
4	1888	64.000	91.525	8.475
8	148	5.017	96.542	3.458
16	45	1.525	98.068	1.932
30	22	0.746	98.814	1.186
50	12	0.407	99.220	0.780
100	10	0.339	99.559	0.441
200	6	0.203	99.763	0.237
Cazoleta	7	0.237	100.000	0.000
	2950	100.000		

3.1.4.3 PESO UNITARIO O VOLUMÉTRICO DE LA ESCORIA (ASTM C-29, NTP 400.017)

Cuadro N° 27.

PESO UNITARIO SUELTO DE LA ESCORIA DE HORNO ELÉCTRICO

Procedimiento	Muestra			Promedio
	1	2	3	
Peso muestra Suelta + Vasija (Kg)	7.372	7.38	7.464	
Peso de la Vasija (Kg)	1.61	1.61	1.61	
Peso de la Muestra Suelta (Kg)	5.762	5.77	5.854	
Volumen de la Vasija (m ³)	0.0027	0.0027	0.0027	
Peso Aparente Suelto (Kg/m ³)	2099.85	2102.77	2133.38	2112



3.1.4.4 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ESCORIA (ASTM C-127, NPT 400.021 Y ASTM C-128 NPT 400.022)

Peso Específico se refiere a la densidad de las partículas individuales y no a la masa del agregado como un todo.

Además es la relación del pesos unitario de una sustancia al peso unitario del agua; bajo condiciones normales puede ser tomada como la unidad, por lo que el peso unitario de una sustancia en gr/cm^3 , es igual al peso específico de la misma.

La norma C127 del ASTM, considera tres pesos específicos para el agregado: Peso específico de masa, peso específico de masa saturada superficialmente seca, y peso específico aparente.

Procedimiento:

- Lavada la muestra con el fin de eliminar el polvo e impurezas superficiales de las partículas, se seca en el horno a temperaturas de 100 a 110°C y luego se sumerge en agua por un espacio de 24 horas.
- Saturada la muestra, se saca del agua y se seca con un paño absorbente hasta desaparecer la película de agua visible, se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie seca. Se determina éste y todos los demás pesos con aproximación de 0.5 gramos.
- Pesada la muestra, se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la canastilla de alambre y se determina se pesó a temperatura promedio de 23°C.



- Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de 100°C y se deja enfriar a temperatura ambiente, durante 1 a 3 horas y se pesa.

Cálculos:

$$\text{PESO ESPECÍFICO} = \frac{A}{(B+A-C)}$$

Cuadro N° 28.

PESO ESPECÍFICO DE LA ESCORIA DE HORNO ELÉCTRICO

Procedimiento	Muestra
	1
1. Peso Tara, [gr]	22.67
2. Peso Tara + muestra, [gr]	182.49
3. Peso Tara + muestra Seco, [gr]	181.74
4. muestra	159.82
A =3-1	159.07
B =peso fiola + agua	650.00
C= peso filo +agua+ muestra seca	764.00
peso específico gr/cm3	3.53
absorción %	0.47

3.1.4.5 CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C-566, NTP 400.021)

El contenido de humedad o agua total del agregado es la diferencia entre el estado actual de humedad del mismo y el estado seco.

Una muestra indica la cantidad de agua que ésta contiene, expresándola como un porcentaje del peso de agua entre el peso del material seco. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables. Entonces lo conveniente es realizar este ensayo y trabajar casi



inmediatamente con este resultado, para evitar distorsiones al momento de los cálculos.

El ensayo para su determinación se realiza de acuerdo a la norma C-566 del ASTM, la que indica que la muestra del agregado debe ser representativa y estar de acuerdo con el tamaño máximo.

Procedimiento:

- Se anota el peso de la tara (P tara).
- Se coloca la muestra en la tara.
- Se pesa la muestra húmeda más la tara (P1)
- Se coloca la tara en el horno a temperatura de 110°C por 24 horas hasta obtener un peso constante.
- Se retira la muestra del horno, se deja enfriar y se pesa la muestra seca mas (P2).

Calculo:

$$\text{Peso de agua } P_{\text{agua}} = P1 - P2$$

$$\text{Peso de Muestra Seca } P_{\text{ms}} = P1 - P_{\text{tara}}$$

$$\text{Contenido de Humedad (\%)} \quad w = \frac{P_{\text{agua}} \times 100}{P_{\text{ms}}}$$



Cuadro N° 29.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA ESCORIA DE HORNO ELÉCTRICO

peso de tara (gr)	Ptara	22.67
peso tara+ muestra húmeda (gr)	P 1	185.49
peso tara+ muestra seca (gr)	P 2	181.74
peso del agua (gr)	P agua	3.76
peso dela muestra seca (gr)	Pms	159.07
Contenido de humedad (%)	w	2.36

3.1.4.6 ABRASIÓN O DESGASTE DE LA EHE (ASTM C 131)

Este procedimiento es practicado para hallar los valores de desgaste de los agregados gruesos hasta de 1 1/2" por medio de la Maquina de los Ángeles.

La carga abrasiva adoptada según la granulometría correspondiente a la Escoria fue de 11 bolas de acero,

Procedimiento:

Se utilizó una muestra de 5kg de EHE seca, muestra que resulto de la suma de las fracciones aportadas obtenidas según detalle:

3/4 – 1/2 2500gr

1/2 – 3/8 250gr

Se procedió a colocar en la maquina tanto la muestra como la carga abrasiva, con un número de vueltas de 500.

Una vez cumplido el número de vueltas se vacía el contenido, para ser tamizado con la malla N°12, para nuestro caso se utilizó la N°10.



Registrando así el peso del material retenido, con aproximación al gramo.

Calculo:

El resultado es la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra, expresado en porcentaje.

$$\% \text{Desgaste} = 100 (P1 - P2) / P1$$

$$P1 = 5000\text{gr}$$

$$P2 = 3692\text{gr}$$

$$\% \text{ de Desgaste} = 26.16\%$$

Se aclara que el porcentaje real debería ser menor por el hecho que no se utilizó el tamiz N°12.

3.1.5 AGUA PARA EL CONCRETO

3.1.5.1 DEFINICIÓN

El papel del agua de mezclado dentro del concreto cumple una vital importancia en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido.

Las normas generalmente recomiendan que si el agua a utilizarse en el concreto es adecuada para beber, entonces se puede asegurar que está libre de materias orgánicas y otras impurezas.

3.1.5.2 LIMITES PERMISIBLES

Hasta la fecha no existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sustancias que pueden presentarse en el agua que va a ser empleada en la preparación y curado del concreto



La NTP 339.088 establece que el agua debe ser de preferencia potable u otra procedencia pero exigiendo los límites que se dan a continuación:

Cuadro N° 30.

REQUISITOS PARA AGUA DE MEZCLA – NTP 339.088

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE
Cloruros	300 ppm.
Sulfatos	300 ppm.
Sales de magnesio	150 ppm.
Sales solubles totales	1500 ppm.
pH.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm.
Materia orgánica	10 ppm.

3.1.5.3 AGUAS NO RECOMENDABLES PARA EL CONCRETO

- Aguas calcáreas, tales como las provenientes de desagües de curtiembres.
- Las aguas que contienen ácidos orgánicos no deben ser empleadas por que disminuyen la estabilidad del volumen del concreto.
- No es recomendable emplear como agua de mezclado aquellas cuyo límite de turbidez es mayor a dos mil partes por millón.
- Se debe tener cuidado con el agua de lluvia por que tiende a deslavar la cal del cemento y no deben ser empleadas en la elaboración del concreto.



Los efectos más perniciosos que pueden esperarse de aguas de mezcla con impurezas son: retardo en el endurecimiento, reducción de la resistencia, manchas en el concreto endurecido, eflorescencia, contribución a la corrosión y cambios volumétricos.

3.1.6 ADITIVOS COLORANTES

3.1.6.1 DEFINICIÓN

Para nuestro trabajo de investigación es necesario el conocimiento del elemento que nos va a permitir darle color al adoquín de concreto con adición de EHE. Los aditivos colorantes se emplean para producir en el concreto el color deseado sin afectar las propiedades de la mezcla.

3.1.6.2 PIGMENTOS O ADITIVOS COLORANTES

Los pigmentos pueden ser naturales o artificiales. Los pigmentos indicados a continuación permiten obtener en el concreto los colores indicados:

- Grises o negros (Óxido negro de hierro: negro mineral o negro carbón)
- Azul (Azul ultramarino)
- Rojo brillante a oscuro (Óxido rojo de hierro)
- Marrón (Óxido marrón de hierro)
- Marfil (Crema, Óxido amarillo de hierro)
- Verde (Óxido de cromo)
- Blanco (Bióxido de titanio)



3.1.6.3 REQUISITOS DEL ADITIVO COLORANTE

Un aditivo colorante debe cumplir los siguientes requisitos:

- Color estable ante la acción de la luz del sol
- Estabilidad química en presencia de la alcalinidad producida por la hidratación del cemento
- Ninguna influencia sobre el tiempo de fraguado o el desarrollo de resistencia.
- Debe recordarse que los pigmentos naturales no producen colores tan vivos como los sintéticos.

3.1.6.4 PORCENTAJE DE ADICIÓN

El porcentaje de adición no deberá exceder el 10% en peso del cemento. Porcentajes menores del 6% tienen poco o ningún efecto sobre las propiedades del concreto fresco o endurecido.

Cantidades mayores al 10% pueden incrementar los requerimientos de agua de la mezcla, afectando la resistencia mecánica

3.2 ESTUDIO DE MATERIALES PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS CON ADOQUINES

A continuación hacemos una descripción de los materiales utilizados para la conformación de la estructura del pavimento como complemento a nuestro trabajo de investigación, el cual está basado fundamentalmente en el diseño y elaboración de los adoquines vibro compactados adicionando EHE; los cuales van a ser colocados sobre las diferentes capas de materiales que conforman el pavimento.



3.2.1 DISPOSICIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE AFIRMADOS, SUB BASES, Y BASES GRANULARES

Los materiales para base granular solo provendrán de canteras autorizadas y será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica. En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Los agregados para la construcción del afirmado deberán ajustarse a los siguientes requisitos granulométricos:

Cuadro N° 31.

GRANULOMETRÍA PARA AFIRMADOS / AASHTO M-47

Tamiz	Porcentaje que Pasa	
	A1	A2
2''	100	-----
1 1/2''	100	-----
1''	90– 100	100
3/4''	65 – 100	80 – 100
3/8''	45 – 80	65 – 100
N° 4	30 – 65	50– 85
N° 10	22– 52	33– 67
N° 40	15– 35	20– 45
N° 200	5 – 20	5 – 20

Además deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad : 4 - 9 (MTC E 111)
- CBR (1) : 40% mín. (MTC E 132)



- Equivalente de Arena : 20% mín. (MTC E 114)

3.2.1.1 MATERIALES PARA SUB BASES

Estos materiales deben elegirse teniendo en cuenta su capacidad para soportar cargas.

La susceptibilidad al agua y al vapor de agua tiene la misma importancia en todas las regiones; al tener en cuenta los efectos de la humedad, el agua de lluvia, la superficial y la subterránea no son tan importantes como el agua capilar o el vapor de agua condensado frecuentemente recogido bajo los pavimentos.

Los primeros tipos pueden separarse del pavimento normalmente por drenaje, pero las últimas se presentan en casi todas partes, incluso en regiones desérticas; generalmente cualquier material granular no susceptible a las heladas es adecuado para capas de Sub Base si se drena convenientemente y se compacta hasta el 95% de la máxima densidad AASHTO con el contenido óptimo de humedad. El material compuesto para la capa de Sub Base debe estar libre de material vegetal y terrones o bolas de tierra, debe presentar en lo posible una granulometría lisa y continua bien graduada.

En general, se obtendrá una buena Sub Base con materiales que reúnan las siguientes propiedades y requerimientos:



Cuadro N° 32

GRANULOMETRÍA PARA AGREGADOS DE SUB BASE / ASTM D-

1241

TAMAÑO DE MALLA (abertura cuadrada)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA LAS SIGUIENTES MALLAS			
	TIPO I			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100	100	-	-
1 "		75-95	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
Nº 4 (4.76mm)	25-55	30-60	35-65	50-85
Nº 10 (2.00mm)	15-40	20-45	25-50	40-70
Nº 40 (0.42mm)	8-20	15-30	15-30	25-45
Nº 200(0.074mm)	2-8	5-15	5-15	8-15



Cuadro N° 33.

REQUERIMIENTOS DE ENSAYOS ESPECIALES DE SUB BASE GRANULAR

ENSAYO	NORMA MTC	NORMA ASTM	NORMA AASHTO	REQUERIMIENTO	
				< 3000 m.s.n.m	>3000 m.s.n.m
Abrasión	E 207	C 131	T 96	50% máx.	50% máx.
CBR (1)	E 132	D 1883	T 193	40% mín.	40% mín.
Limite Liquido	E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	E 111	D 4318	T 89	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	E 114	D 2419	T 176	25% mín.	35% mín.
Sales solubles	E 219	-----	-----	1% máx.	1% máx.
Partículas chatas y alargadas	E 211	D 4791	-----	20% máx.	20% máx.

La curva de gradación deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Referido al 100% de la máxima densidad seca y una penetración de carga de 0.1" (2.5 mm).

3.2.1.2 MATERIAL PARA BASE GRANULAR

Las exigencias en cuanto a espesor y calidad para capas de base dependen primordialmente del volumen de tráfico y de las cargas máximas por eje y en cierta medida de la calidad de las capas que han de ir sobre ellas. Si los materiales existentes "in situ" cumplen las condiciones que se indican en los apartados siguientes, pueden emplearse como base siempre que se escarifiquen, se mezclen perfectamente con el contenido óptimo de humedad y se compacten de



nuevo en el espesor total necesario. Las exigencias en cuanto a compactación de estos materiales deben determinarse tomando como base la especificación AASHTO T-80.

a) TRÁFICO LIGERO

La capa de base debe ser de material clasificado en el cuadro anterior como buena sub-base o mejor. Debe compactarse hasta una densidad no inferior al 95% de la densidad máxima AASHTO, si se ha de aplicar a la superficie un tratamiento superficial, la capa de base debe ser de material clasificado como "base de tipo medio".

b) TRÁFICO MEDIO

La capa base debe ser de material clasificado como "base excelente" debe compactarse hasta conseguir una densidad no inferior al 98% de la densidad máxima AASHTO. La compactación debe realizarse por capas de espesor no superior a 15 cm.

c) TRÁFICO PESADO

La capa de base debe ser de material clasificado como "Base excelente" debe compactarse hasta lograr una densidad no inferior al 100% de la máxima densidad AASHTO.

El material de Base deberá cumplir con las siguientes características físicas, químicas y mecánicas que se indican a continuación:

- CBR mín. 80% para trafico ligero y medio
- CBR mín. 100% para trafico pesado
- Limite Liquido (ASTM D-4318) máx. 25%
- Índice de plasticidad máx. 4 %



- Equivalente a arena (ASTM D-2419) mín. 35 %
- Abrasión (ASTM C-131) máx. 40%
- Granulometría, será la misma que para la Sub-base granular.
- Sales Solubles Totales máx. 1%
- Porcentaje de Compactación del Proctor Modificado (ASTM D-1556) mín. 100%
- Variación en el contenido óptimo de humedad del Proctor Modificado $\pm 1.5\%$.

El material también deberá cumplir con los siguientes requisitos:

El rango de gradación "A" del siguiente cuadro deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Cuadro N° 34.

GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS

DE BASE / ASTM D-1241

TAMAÑO DE MALLA (abertura cuadrada)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA LAS SIGUIENTES MALLAS			
	TIPO I			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100	100	-	-
1 "		75-95	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
Nº 4 (4.76mm)	25-55	30-60	35-65	50-85
Nº 10 (2.00mm)	15-40	20-45	25-50	40-70
Nº 40 (0.42mm)	8-20	15-30	15-30	25-45
Nº 200(0.074mm)	2-8	5-15	5-15	8-15



3.2.2 MATERIAL ÁRIDO PARA LA CAPA DE SOPORTE DE LOS ADOQUINES

La arena utilizada para la capa de apoyo de los adoquines, será de origen aluvial, sin trituración, libre de polvo, materia orgánica y otras sustancias objetables. El uso de un árido inadecuado puede producir el fallo completo del pavimento cuando está sometido a tráfico. El empleo de árido conteniendo finos de carácter plástico inferiores a 75 micras debe evitarse de forma absoluta, pudiendo establecerse como límite un contenido de materia orgánica y arcilla inferior al 3%. Los áridos que cumplan con estos requisitos granulométricos tendrán un rendimiento satisfactorio bajo tráfico, tanto si están húmedos como si están secos.

En cuanto a su nivel de angulosidad, se ha comprobado que los pavimentos realizados con adoquines tienen un mejor comportamiento cuando se han colocado sobre un lecho de áridos angulosos que cuando estos áridos son más redondeados. Esto se debe a que cuanto mayor es la angulosidad de los áridos mayor es su cohesión y por tanto, menor es el riesgo de deformación y arrastre causado por la pequeña cantidad de agua superficial que llega al lecho de árido a través de las juntas entre adoquines.

La granulometría recomendada del árido a emplear debe satisfacer los siguientes requisitos:



Cuadro N° 35.

**REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA LA CAPA DE SOPORTE DEL
ADOQUIN.**

Malla	% que Pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	90 – 100
2.36 mm (N° 8)	75 – 100
1.18 mm (N° 16)	50 – 95
600 um (N° 30)	25 – 60
300 um (N° 50)	10 – 30
150 um (N° 100)	0 – 15
75 um (N° 200)	0 – 5

Fuente: Ministerio de Transportes (MTC)

**3.2.3 MATERIAL ÁRIDO PARA EL SELLADO DE LAS JUNTAS DE LOS
ADOQUINES**

La arena utilizada para el sello de las juntas de los adoquines será de origen aluvial sin trituración, libre de finos plásticos, materia orgánica y otras sustancias objetables; la arena será lavada y deberá estar libre de materiales orgánicos; esta arena debe estar libre de sales solubles dañinas, u otros contaminantes que pueden provocar la aparición de eflorescencias. Es recomendable emplear arenas lavadas sin exceso de finos, si hay demasiados finos se producirá el vaciado de las juntas con el uso y limpieza del pavimento; además el exceso de finos facilitará su



migración hacia el lecho de árido por arrastre, con idénticas consecuencias no deseables, Su granulometría es la siguiente.

Cuadro N° 36.

**REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA EL SELLADO DE LA JUNTA
DEL ADOQUIN**

Malla	% que Pasa
2.36 mm (N° 8)	100
1.18 mm (N° 16)	90 – 100
600 um (N° 30)	60 – 90
300 um (N° 50)	30 – 60
150 um (N° 100)	5 – 30
75 um (N° 200)	0 – 5

Fuente: Ministerio de Transportes (MTC)

3.3 DISEÑO DE MEZCLA

3.3.1 INTRODUCCIÓN

La selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica del concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla, puede ser definida como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en estado no endurecido, tenga las propiedades, especialmente trabajabilidad y



consistencia deseadas y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador en base al método aplicado.

Para nuestro diseño analizaremos mezclas de concretos de consistencia seca ya que estos son los que dan mayor resistencia pero su aplicación en obras resulta muy difícil por su poca trabajabilidad, donde la vibración viene a solucionar este problema, permitiendo el empleo de mezclas con asentamientos entre 0" a 1".

Así también es importante considerar el aspecto económico en la producción del concreto, pues se deben encontrar las proporciones óptimas de cada componente de tal manera que asegure la calidad y economía para la elaboración de los bloques de concreto.

3.3.2 MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA

En el Perú no existe un método oficial de diseño de mezclas, ello es fundamentalmente debido a la gran diversidad de agregados y a la diversidad de nuestra geografía,

En la construcción se emplean diversos métodos de diseño de mezclas de concreto normal, la mayoría de los métodos de dosificación se basan en el empleo de factores empíricos, como son el Método del American Concrete Institute (ACI), el Método de Walker y el Método del Módulo de Fineza de la Combinación de Agregados. Para nuestro trabajo de investigación utilizaremos estos tres métodos de diseño con la finalidad de determinar cuál es el mejor método que se adecua a nuestra investigación.



3.3.2.1 MÉTODO ACI

El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezcla bastante simple el cual se basa en algunas tablas de diseño presentadas en el ANEXO A, las cuales permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

El procedimiento para la selección de las proporciones de materiales es aplicable a concretos de peso normal y a las condiciones que cada una de las tablas se indican en ellas, también este método puede ser utilizado en el diseño de concretos pesado y ciclópeo.



Capítulo IV

DESARROLLO DE LA

INVESTIGACIÓN

EXPERIMENTAL



CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACION EXPERIMENTAL

4.1. CONTROL DE LOS ADOQUINES CON ADICION DE EHE Y VIBROCOMPACTADOS.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ADOQUINES CON EHE VIBROCOMPACTADOS

La elaboración de Adoquines de Concreto Vibrocompactados consiste en obtener una resistencia adecuada con la adición de EHE, de modo que sea posible mejorar las características mecánicas y físicas de los adoquines, lo peculiar de la fabricación de las unidades de concreto es que las mezclas pueden ser dosificadas para producir unidades de resistencia variable dentro del mismo tipo de la unidad.

Una condición imprescindible que deben satisfacer los adoquines es su uniformidad, no sólo en lo relativo a la regularidades de sus dimensiones, en especial su altura, sino también en cuanto a la densidad, calidad, textura superficial y acabado; los bloques deben ser económicos, impermeables, resistentes, durables y capaces de resistir cargas pesadas.

4.1.2 NORMAS QUE RIGEN LOS ADOQUINES

Los bloques serán fabricados en conformidad con las Normas, NTP 399.611, NTP 399.604, para adoquines de concreto. Las dimensiones de los adoquines serán de 20 cm de largo por 10 cm de ancho y 8 cm de altura, que se utilizan en áreas de tráfico medio, es decir, peatonal y vehicular.



La selección de la resistencia se hará conforme a la NTP 399.611 para adoquines de concreto estableciéndose una resistencia mínima del adoquín para uso de 380 Kg./cm² para tránsito vehicular ligero y peatonal (TIPO II), como se puede observar en el cuadro N° 37.

Cuadro N° 37

ESPESOR Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN / NTP N° 399.611

TIPO	Espesor Nominal en (mm)	Resistencia a la Compresión Mínima en MPa (kg/cm ²)	
		Resistencia promedio	Unidad Individual
TIPO I	40	31 (320)	28 (290)
	60	31 (320)	28 (290)
TIPO II	60	41 (420)	37 (380)
	80	37 (380)	33 (340)
	100	35 (360)	32 (325)
TIPO III	μ 80	55 (561)	50 (510)

NOTA: Los valores establecidos en la Tabla serán considerados como estándar, los valores mostrados entre paréntesis son únicamente para información.

4.2 DISEÑO DE MEZCLA QUE SE UTILIZO.

4.2.1 EL MÉTODO ACI.

Se desea calcular las proporciones de los materiales integrantes de una mezcla de concreto, para ser utilizadas en la preparación de Adoquines de cemento, para su uso en pavimentación, en la ciudad de Chimbote. Las especificaciones de obra se indican a continuación:

La resistencia en compresión de diseño de partida es de 320 kg/cm² a los 28 días.



Las condiciones de fabricación requieren una consistencia seca.

a) Características de los Materiales.

Cemento:

Cemento Pórtland Tipo MS – “Pacasmayo”,

Peso específico 3.11 Kg/cm³.

Agua:

Agua potable de la red de servicio publica de Chimbote

Agregados

Cuadro N° 38.

RESUMEN DE LOS AGREGADOS

DESCRIPCION	A.F CANTERA CUMBRE	A.G. CANTERA COMICAL
Peso Específico	2.71 gr/cm ³	2.85 gr/m ³
Absorción	1.07 %	0.80 %
Contenido de Humedad	0.40 %	0.49 %
Módulo de Fineza	2.49	-----
Peso Unitario Suelto	1595 kg/m ³	1813 kg/m ³
Peso Seco Varillado	-----	1952 kg/m ³
Tamaño Máximo Nominal	-----	3/8"

b) Determinación de la resistencia promedio.

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

tiene que: $F'_{cr} = f'c + 94 \text{ kg/cm}^2$

Entonces $F'_{cr} = 320 + 94 = 414 \text{ kg/cm}^2$

c) Selección del tamaño máximo nominal.

El tamaño máximo nominal de 3/8"



d) Selección del asentamiento.

Por condiciones de colocación se requiere de una mezcla plástica con un asentamiento de 1" a 2".

e) Volumen unitario de agua.

Para una mezcla de concreto de 1" a 2" de asentamiento, sin aire incorporado y cuyo agregado tiene un tamaño máximo nominal de 3/8", el volumen unitario de agua es de 205 Lt/m³.

f) Contenido de aire.

Se considera 3 % de aire atrapado por las características de los componentes de éste concreto.

g) Relación de agua cemento.

Para una resistencia de diseño $f_{cr} = 414 \text{ Kg/cm}^2$ sin aire incorporado, la relación agua – cemento es de 0.42

h) Factor cemento.

$$205/0.42 = 488.10 \text{ kg/m}^3 = 11.48 \text{ bls/m}^3$$

i) Contenido del agregado grueso.

Para un módulo de fineza de 2.49 y un tamaño máximo nominal de 3/8" le corresponde un volumen unitario de 0.49 m³ de agregado grueso grueso varillado por unidad de volumen de concreto.

$$\text{Peso del Agregado Grueso} = 0.49 \times 1952 = 956.48 \text{ kg/m}^3.$$



j) Cálculo de volúmenes absolutos.

Cemento	$488.10 / (3.11 \times 1000) =$	0.157m^3
Agua	$205.00 / (1.00 \times 1000) =$	0.205 m^3
Aire atrapado	3.00%	$= 0.030\text{ m}^3$
Agregado grueso	$956.48 / (2.85 \times 1000) =$	0.336 m^3
Total		$= 0.728\text{ m}^3$

k) Contenido de agregado fino.

Volumen absoluto de agregado fino	$1.00 - 0.728 =$	0.272 m^3
Peso de agregado fino seco	$0.272 \times 2.71 \times 1000 =$	738.3 m^3

l) Valores de diseño.

Cemento	488.10 kg/m^3
Agua de diseño	205.00 kg/m^3
Agregado fino seco	738.34 kg/m^3
Agregado grueso seco	956.48 kg/m^3

m) Corrección por humedad de los agregados.

Agregado fino	$0.40 - 1.07 = -0.67\%$
Agregado grueso	$0.49 - 0.80 = -0.31\%$

Aporte de humedad de los agregados:

Agregado fino	$738.34 \times (-0.0067) =$	-4.95 lt/m^3
Agregado grueso	$956.48 \times (-0.0031) =$	-2.94 lt/m^3
Total		$= -7.91\text{ lt/m}^3$
Agua efectiva	$205.00 - (-7.91) =$	212.91 lt/m^3



Los pesos de los materiales ya corregidos serán:

Cemento 488.10 kg/m^3

Agua de diseño 212.91 kg/m^3

Agregado fino húmedo 741.29 kg/m^3

Agregado grueso húmedo 961.17 kg/m^3

n) Proporción por peso húmedo.

$448.10/488.10 : 741.29/448.10 : 961.17/448.10$

$1 : 1.52 : 1.97 / 0.44$

o) Peso por tanda de un saco.

Cemento $1.00 \times 42.5 = 42.50 \text{ kg/saco}$

Agua de diseño $0.44 \times 42.5 = 18.54 \text{ Lt/saco}$

Agregado fino húmedo $1.52 \times 42.5 = 64.55 \text{ kg/saco}$

Agregado grueso húmedo $1.97 \times 42.5 = 83.69 \text{ kg/saco}$

p) Peso por pie cubico del.

Agregado fino húmedo $741.29 \times 35.31 / 15.95 = 16.41 \text{ kg/pie}^3$

Agregado grueso húmedo $961.17 \times 35.31 / 18.13 = 18.72 \text{ kg/pie}^3$

q) Dosificación en volúmenes.

Cemento $11.48 / 11.48 = 1 \text{ pie}^3$

Agregado fino húmedo $16.41 / 11.48 = 1.43 \text{ pie}^3$

Agregado grueso húmedo $18.72 / 11.48 = 1.63 \text{ pie}^3$

Agua de mezcla $212.91 / 11.48 = 18.54 \text{ lt/bolsa}$

Se recomienda usar $1 : 1.4 : 1.6 / 18.5$

4.3 PROCESO DE MOLIENDA DE LA ESCORIA.

Con este proceso se buscó obtener una granulometría lo suficientemente aceptable para poder utilizarla como Adición al diseño de mezcla, este proceso fue realizado en el molino de bolas propio del ensayo de abrasión, logrando una granulometría inferior al tamiz N°4.

Que sirvió para la adición al diseño de mezcla de los adoquines.

Este proceso se realizó con una carga abrasiva de 12 bolas de acero, 3000 vueltas a cada 9.5 kg.



Figura N°11. Proceso de molienda de la escoria de horno eléctrico.

4.4 DETERMINACION DEL ÓPTIMO CONTENIDO DE ESCORIA COMO ADICION.

Se desarrollaron 4 diseños con escorias como adición, siendo necesario considerar el Peso Volumétrico tanto del cemento como de la fracción fina de la escoria resultado de la molienda.

Cuadro N° 39.

DETERMINACIÓN DEL ÓPTIMO CONTENIDO DE ESCORIA COMO ADICIÓN

DISEÑOS CON ESCORIA COMO ADICIÓN					
DISEÑOS	<i>Dosificación de componentes según diseño</i>				
	<i>cemento (gr)</i>	<i>arena(gr)</i>	<i>gravilla (gr)</i>	<i>EHE (gr)</i>	<i>agua (ml)</i>
DP	780	1685	1036	0	300
D1(5%)	780	1685	1036	39	300
D2(10%)	780	1685	1036	78	300
D3(15%)	780	1685	1036	117	300
D4(20%)	780	1685	1036	156	300

4.4.1 ELABORACIÓN Y CURADO

a) *Mesa Vibradora*

Para la fabricación de los adoquines esta se realiza con el apoyo de una mesa vibradora de 0.6 m. x 0.8 m. con un motor de 1/2 HP y 1740 r.p.m, motor monofásico de 220V y 60 hertz, al cual se le acoplo un brazo acoplado que nos permite acomodar y compactar la mezcla del Adoquín de Concreto, con una carga promedio de 200 kg, como se muestra en la figura N°12.



Figura N°12 Mesa Vibratoria Artesanal

b) Mezclado

Mezclado Manual:

Se acarrea los materiales al área de mezclado parados unidades. En primer lugar se dispondrá de arena, luego, encima el agregado grueso; seguidamente se agregará el cemento y por último se adiciona la **EHE**, realizando el mezclado en seco empleando una pala de aluminio. Será preciso realizar por lo menos 3 vueltas de los materiales. Después del mezclado se incorpora el agua en el centro del hoyo de la mezcla, luego se cubre el agua con el material seco de los costados, para luego mezclar todo uniformemente. La mezcla húmeda debe voltearse por lo menos 4 vueltas.



Figura N°13 Mezclado de materiales manual

Mezclado Mecánico:

Para mezclar el material utilizando mezcladora (tipo trompo o de tolva) se debe iniciar mezclando previamente en seco el cemento y los agregados en el tambor, hasta obtener una mezcla de color uniforme; luego se agrega agua y se continua la mezcla húmeda durante 3 a 6 minutos. Si los agregados son muy absorbentes, incorporar a los

agregados la mitad o los $\frac{2}{3}$ partes de agua necesaria para la mezcla de los agregados y el resto del agua, continuando la operación de 2 a 3 minutos.

c) **Consistencia**

El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil, pisando las aletas. Seguidamente se vierte una capa de concreto, hasta un tercio del volumen. Se apisona una varilla, aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente.

La tercera capa se deberá llenar en exceso, para luego enrasar al término de la consolidación. Lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente en dirección vertical.

El concreto moldeado fresco se asentará, la diferencia entre la altura del molde y la altura de la mezcla fresca se denomina Slump.

Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término, no deben transcurrir más de 2 minutos, de los cuales el proceso del desmolde no toma más de 5 segundos.



Figura N°14 Consistencia del concreto (Slump.)

d) Molde metálico

Se elaboró un molde metálico permite fabricar los adoquines de 20x10x8 cm. (largo, ancho, altura), el molde metálicos está compuesto por dos divisiones que permiten tener un avance más rápido en la fabricación de los adoquines, además presentan en sus lados unas aristas verticales de 3 mm las cuales trabajan como juntas espaciadoras en la colocación del adoquín, la caja del molde tiene en la base, dimensiones ligeramente mayores que en la parte superior la cual facilita el desmoldaje. Para fines de investigación este molde se diseñó para dos unidades. Después de cada jornada esto molde debe limpiarse, lavarse y protegerlo con una película de petróleo.



Figura N°15 Molde de adoquín.

e) Moldeado

Obtenida la mezcla se procede a vaciarla dentro del molde metálico de 20x10x8 cm. (largo, ancho, altura) colocado sobre la mesa vibradora; el método de llenado se debe realizar en dos capas; para tener una mejor compactación, con la ayuda de un badilejo se puede acomodar la mezcla. El vibrado se mantiene hasta que aparezca una película de agua

en la superficie entre 3 a 4 min en nuestra meza, luego se retira el molde de la mesa y se lleva al área de desmolde y fraguado, con la ayuda de un mazo de madera se golpea los lados del molde y se desmolda el bloque en forma vertical.



Figura N°16 Moldeado del adoquín.

f) *Fraguado*

Una vez fabricados los adoquines, éstos deben permanecer en un lugar que les garantice protección del sol y de los vientos, con la finalidad de que puedan fraguar sin secarse. El periodo de fraguado debe ser de 4 a 8 horas, pero se recomienda dejar los bloques de un día para otro. Si los bloques se dejarán expuestos al sol o a vientos fuertes se ocasionaría una pérdida rápida del agua de la mezcla, o sea un secado prematuro, que reducirá la resistencia final de los bloques y provocará fisuramiento del concreto.



Figura N°17 Fraguado de los adoquines.

g) Curado

El curado de los adoquines se sumergen en un pozo que consiste en mantener los bloques húmedos para permitir que continúe la reacción química del cemento, con el fin de obtener una buena calidad y resistencia especificada.



Figura N°18 Curado de los adoquines.

4.5 EVALUACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICO-MECANICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERIA SEGÚN LA PROPORCION DE ESCORIA EMPLEADA

4.5.1 DIMENSIONAMIENTO Y VARIACIÓN LONGITUDINAL

Según la norma NTP 399.611. La forma y espesores de los Adoquines de Cemento con EHE Vibrocompactados, tienen relación directa con la resistencia de los bloques. La fabricación comprende



Adoquines que manteniendo su largo de 20 cm, ancho de 10 cm y espesor de 8 cm, serán fabricados en función del pavimento.

Los bloques a su vez presentan unas aristas verticales de aproximadamente 3 mm de espesor, los cuales facilitarán el espaciado de la junta de colocación, los mismos que se corresponden verticalmente en la unión de los Adoquines.

Instrumentos:

Una regla de acero inoxidable de 30 cm de longitud graduada en mm. o un calibrador de 30 cm, de mordagas paralelas, provisto de una escala graduada.

Muestra:

La muestra debe estar constituida por 5 Adoquines enteros secos.

Procedimiento de ensayos:

El procedimiento consiste en medir el largo, el ancho y la altura, con la precisión de 0.05 mm de cada espécimen entero. Cada una de las dimensiones se obtiene como el promedio de las cuatro medidas entre los puntos medios de los bordes terminales de cada cara.

Las medidas de largo y ancho de los adoquines no deben variar en más de 1.4 mm con respecto a las medidas nominales fijadas por el fabricante. El espesor debe estar comprendido dentro de ± 3.2 mm del espesor nominal.

Expresión de resultados:

Con los valores obtenidos se calcula para cada dimensión, el promedio general correspondiente al grupo de los bloques de la muestra, luego se



calcula la variación en porcentaje de cada dimensión restante de cada dimensión especificada del valor obtenido de promediar la dimensión de todas las muestras, dividiendo este valor por la dimensión especificada y multiplicado por cien.

$$V = \frac{DE - MP}{DE}$$

En donde:

- MP : Longitud promedio de las cuatro medidas entre los puntos medios de los bordes terminales de cada cara del adoquín
- DE : Dimensión especificada en milímetros.
- V : Variación de dimensión, en porcentaje.



Cuadro N° 40.
DETERMINACIÓN DE DIMENSIONAMIENTO Y VARIACIÓN LONGITUDINAL DE LOS ADOQUINES

DOSIFICACION	ESPESOR					ANCHO					LARGO				
	D.NOMINAL CM	D. REAL CM	VARIACION EN MM	% EN VARIACION	PROMEDIO	D.NOMINAL	D. REAL	VARIACION EN MM	% EN VARIACION	PROMEDIO	D.NOMINAL	D. REAL	VARIACION EN MM	% EN VARIACION	PROMEDIO
D	8.00	8.11	1.05	-1.31		10.00	10.10	1.00	-1.00		20.00	20.11	1.10	-0.55	
	8.00	8.12	1.20	-1.50		10.00	10.12	1.20	-1.20		20.00	20.10	1.00	-0.50	
	8.00	8.11	1.10	-1.37	-1.09	10.00	10.11	1.10	-1.10	-0.91	20.00	20.12	1.20	-0.60	-0.49
	8.00	8.10	1.00	-1.25		10.00	10.00	0.00	0.00		20.00	20.11	1.10	-0.55	
D1	8.00	8.00	0.00	0.00		10.00	10.13	1.25	-1.25		20.00	20.05	0.50	-0.25	
	8.00	8.12	1.20	-1.50		10.00	10.00	0.00	0.00		20.00	20.12	1.15	-0.57	
	8.00	8.12	1.15	-1.44		10.00	10.00	0.00	0.00		20.00	20.11	1.10	-0.55	
	8.00	8.12	1.20	-1.50	-1.39	10.00	10.14	1.40	-1.40	-0.70	20.00	20.10	1.00	-0.50	-0.55
D2	8.00	8.10	1.00	-1.25		10.00	10.10	1.00	-1.00		20.00	20.12	1.20	-0.60	
	8.00	8.10	1.00	-1.25		10.00	10.11	1.10	-1.10		20.00	20.11	1.05	-0.53	
	8.00	8.10	1.00	-1.25		10.00	10.05	0.50	-0.50		20.00	20.05	0.50	-0.25	
	8.00	8.11	1.05	-1.31		10.00	10.13	1.30	-1.30		20.00	20.13	1.30	-0.65	
D3	8.00	8.05	0.50	-0.63	-0.64	10.00	10.12	1.20	-1.20	-0.86	20.00	20.11	1.10	-0.55	-0.53
	8.00	8.00	0.00	0.00		10.00	10.13	1.30	-1.30		20.00	20.12	1.20	-0.60	
	8.00	8.00	0.00	0.00		10.00	10.00	0.00	0.00		20.00	20.12	1.20	-0.60	
	8.00	8.09	0.90	-1.13		10.00	10.12	1.20	-1.20		20.00	20.11	1.10	-0.55	
D3	8.00	8.05	0.50	-0.63		10.00	10.10	1.00	-1.00		20.00	20.10	1.00	-0.50	
	8.00	8.10	1.02	-1.28	-0.88	10.00	10.12	1.20	-1.20	-0.90	20.00	20.11	1.05	-0.53	-0.52
	8.00	8.11	1.10	-1.37		10.00	10.11	1.10	-1.10		20.00	20.10	1.04	-0.52	
	8.00	8.00	0.00	0.00		10.00	10.00	0.00	0.00		20.00	20.10	1.02	-0.51	



4.5.2 PROPIEDADES FÍSICAS

a) DENSIDAD

Según la norma NTP 399.604, la determinación de la densidad nos permite determinar si un bloque es pesado o liviano, además indica el índice de esfuerzo de la mano de obra o de equipo requerido para su manipulación desde su fabricación hasta su colocación en el pavimento.

Instrumentos:

- Balanza con capacidad no menor de 4 Kg y que permita efectuar pesadas con una precisión de 0.5 g.
- Recipiente de agua que pueda contener las muestras completamente sumergidas

Muestras:

Estará constituida por Adoquines secos enteros obtenidos de la fabricación.

Procediendo de Ensayos:

- El adoquín se sumerge en agua a temperatura ambiente (15°C a 25°C) durante 24 horas.
- Luego se deja drenar libremente durante 1 minuto, procediéndose a secar sus superficies con un paño seco.
- Se pesa el adoquín, obteniéndose el peso saturado (G1).
- Pese la canastilla completamente sumergida en un balde con agua.
- Coloque inmediatamente la muestra saturada (G1) pesada en la canastilla luego anote el peso dado obteniéndose el peso saturado dentro del agua (G2).



- Posteriormente se coloca el adoquín en un horno a temperatura constante entre 100°C y 105°C, durante 24. El peso así obtenido será el peso seco (G3). Se calcula el peso específico aparente de acuerdo a la expresión.

Expresión de resultados:

Con los valores obtenidos se calcula La densidad de la siguiente manera:

$$D = \frac{G3}{G1 - G2}$$

En donde:

- G1 : Masa del espécimen saturado, en gr.
- G2 : Masa del espécimen saturado sumergido, en gr.
- G3 : Masa del espécimen seco, en gr.
- D : Densidad del espécimen en gr/cm³.

Cuadro N° 41.

DENSIDAD DE LOS ADOQUINES CON ADICION DE EHE.

PROCEDIMIENTO	MUESTRA			
	D	D1	D2	D3
Pm: peso muestra saturadaseca (gr)	3.862	3.859	3.859	3.858
Pme: Peso de la muestra despues del ensayo (gr)	3.816	3.806	3.805	3.804
A: superficie de desgaste del adoquin (cm2)	142.60	143.12	142.45	146.25
Pu: peso unitario sueto delmaterial de relleno (arena)	1.240	1.230	1.220	1.215
Pr: peso delmaterial de relleno (arena) (gr)	46	48	47	47
V: volumen delmaterial extraido del adoquin (cm3) $V=Pr/Pu$	37.097	39.024	38.525	38.683
D: desgaste del adoquin (cm3/cm2) $D=V/A$	0.260	0.273	0.270	0.265
perdidad de volumen cm3/50cm2	13.01	13.63	13.52	13.23



b) ABSORCIÓN

La absorción del agua se mide como el peso del agua, expresado en porcentaje del peso seco, absorbido por la pieza sumergida en agua según la Norma NTP 399.604 esta propiedad se relaciona con la permeabilidad de la pieza y con la resistencia que puede desarrollar.

La absorción se determina pesando el material seco (llevándolo al horno a 110°C), luego se introduce al agua durante 24 horas y se obtiene el peso saturado. Si no se dispone de facilidades para secar toda la muestra o pesar la unidad entera, los especímenes pueden ser fraccionados en unidades pequeñas, cuyo peso no sea menor del 10% de la unidad entera y que tenga toda la altura. El porcentaje de absorción máxima del promedio 3 unidades será de 5 %. y la absorción máxima en porcentaje de la unidad individual será de 7 %. Según la Norma mencionada NTP 399.604.

Instrumentos:

- Balanza con capacidad no menor de 4 Kg y que permita efectuar pesadas con una precisión de 0.5 g.
- Recipiente de agua que pueda contener las muestras completamente sumergidas.

Muestras:

Estará constituida por Adoquines secos enteros obtenidos de la fabricación.



Procedimiento de ensayos:

- El adoquín se sumerge en agua a temperatura ambiente (15°C a 25°C) durante 24 horas.
- Luego se deja drenar libremente durante 1 minuto, procediéndose a secar sus superficies con un paño seco.
- Se pesa el adoquín, obteniéndose el peso saturado (G1).
- Posteriormente se coloca el adoquín en un horno a temperatura constante entre 100°C y 105°C, durante 24 horas. El peso así obtenido será el peso seco (G3). Se calcula el porcentaje de absorción de acuerdo a la expresión.

Expresión de resultados:

Con los valores obtenidos se calcula La densidad de la siguiente manera:

$$A = \frac{G1 - G3}{G3} \times 100$$

En donde:

- G1 : Masa del espécimen saturado, en gr.
- G3 : Masa del espécimen seco, en gr.
- A : Contenido de agua absorbida en porcentaje.



Cuadro N° 42.

ABSORCIÓN DE LOS ADOQUINES CON ADICIÓN DE EHE

DISEÑOS	MUESTRAS		ABSORCION	PROMEDIO
	G1	G3	D	
D	3.87	3.74	3.37	3.31
	3.88	3.75	3.25	
D1	3.89	3.75	3.57	3.39
	3.93	3.81	3.21	
D2	3.90	3.78	3.01	3.07
	3.89	3.77	3.13	
D3	3.94	3.82	3.25	3.20
	3.93	3.81	3.15	

4.5.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

a) RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión axial NTP 399.604 para adoquines de concreto se determina mediante la aplicación de una fuerza de compresión sobre la unidad en la misma dirección en que trabaja en el pavimento, durante el ensayo debe tomarse como precaución el refrentado de la cara del adoquín en contacto con el pistón hidráulico de la prensa de compresión, para garantizar una distribución uniforme de la fuerza.

Instrumentos:

Máquina para pruebas de compresión, con la suficiente capacidad para ensayar adoquines de concreto, ya sea esta digital, mecánica o electromecánica; debiendo estar provista para la aplicación de la carga una plancha de acero y una base de acero, en el cual se pondrá el adoquín y la otra en contacto con el cabezal superior de la máquina de compresión.



Muestras:

Estará constituida por 05 unidades de adoquines enteros y secos.

Procedimiento de ensayos:

Las muestras a ensayar se deben encontrar en estado de humedad en equilibrio con el ambiente.

Previo al ensayo es necesario tener determinada el área Neta de cada espécimen, se coloca el espécimen con una de sus caras mayores sobre el apoyo de la máquina y se hace descender el vástago solidario al cabezal, maniobrando suavemente la rótula hasta obtener un contacto perfecto sobre la cara superior del espécimen, asegurando que el eje de la misma coincida con el eje longitudinal del espécimen.

La carga se aplica sin impactos y de manera uniforme hasta el límite en que la carga no pueda ser sostenida. La máxima lectura se registra.

Expresión de resultados:

La resistencia a la compresión de cada unidad se calcula dividiendo la carga máxima registrada por el área neta del adoquín de concreto.

$$f'c = \frac{P}{A}$$

En donde:

- $f'c$: Resistencia a la compresión del adoquín en Kg/cm².
- P : Carga de rotura aplicada indicada por la maquina en KN o Kg.
- A : Área Neta del adoquín de concreto en cm².

Cuadro N° 43.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

HORIZONTAL

DOSIFICACION	D			D 5%			D 10%			D 15%						
	PESO	KG/F	KG/C M2	PROM EDIO	PESO	KG/F	KG/C M2	PROM EDIO	PESO	KG/F	KG/C M2	PROM EDIO	PESO	KG/F	KG/C M2	PROM EDIO
7 DIAS	3.882	56585	320		3.962	58307	330		3.924	65589	371		3.934	65174	369	
	3.814	59551	337	341	3.864	58486	331	340	3.940	55295	313	335	3.934	67159	380	360
	3.920	64542	365		3.914	63608	360		3.944	56773	321		3.948	58371	330	
14 DIAS	3.876	74292	420		3.874	72413	410		3.986	56285	319		3.942	61560	348	
	3.880	63883	400	409	3.974	73649	417	415	3.924	56564	320	327	3.934	60769	344	340
	3.858	72169	408		3.974	73645	417		3.894	60630	343		3.950	58140	329	
28 DIAS	3.750	73607	417		3.930	74137	420		3.852	65856	373		3.930	71758	406	
	3.813	73254	415	415	3.930	74490	422	420	3.892	70774	401	392	3.934	71489	405	405
	3.802	72724	412		3.918	73784	417		3.884	71222	403		3.970	71136	403	

VERTICAL

DOSIFICACION	D			D 5%			D 10%			D 15%						
	PESO	KG/F	KG/C M2	PROM EDIO	PESO	KG/F	KG/C M2	PROM EDIO	PESO	KG/F	KG/C M2	PROM EDIO	PESO	KG/F	KG/C M2	PROM EDIO
7 DIAS	3.862	10884	62	68	3.874	19324	109	81	3.892	12637	73	66	3.908	6897	39	56
	3.856	12933	73		3.896	9423	53		3.918	10183	58		3.922	12670	72	
14 DIAS	3.862	17645	100	101	3.980	18217	103	104	3.846	18460	104	99	3.976	16852	95	93
	3.898	17998	102		3.904	18394	104		3.848	16400	93		3.912	15873	90	
28 DIAS	3.817	18704	106	108	3.928	20711	117	119	3.852	20888	117	118	3.950	19307	109	110
	3.840	19410	110		3.970	21242	120		3.926	21057	119		3.906	19450	110	



b) RESISTENCIA AL DESGASTE

Se puede aplicar la Norma ASTM C418-76, NTP 399.625 para determinación de resistencia al desgaste de hormigones por el Método del Chorro de Arena, la NTP 399.624 también contempla que este ensayo se puede realizar utilizando la Máquina de Desgaste.

Instrumentos:

Para su realización del método del chorro de arena se requiere de un equipo especial de chorro de arena capaz de entregar una presión controlada de 7 kg/cm^2 , provisto de una pistola terminada en una boquilla de $6.35 \pm 0.02 \text{ mm}$ de diámetro interior. Como abrasivo se utiliza arena de sílice de tamaño comprendido entre 0.85 y 0.60 mm.

Muestras:

Estará constituida por Adoquines de Concreto en condición saturada superficialmente seca.

Procedimiento de ensayos:

El ensayo se realiza aplicando el chorro de arena perpendicular a la superficie de la muestra, a una distancia de $76 \pm 2.5 \text{ mm}$ de la boquilla, con una presión de aire de $60 \pm 1 \text{ lb/pl}^2$; y la duración del ensayo debe ser de 1 minuto. El ensayo se repite en un mínimo de 8 puntos diferentes de la superficie.

Expresión de resultados:

La determinación del volumen del material extraído se hace llenando las cavidades con arcilla o arena para modelar de densidad conocida.



El resultado se expresa como el volumen de material extraído por unidad de superficie. Aceptándose una pérdida de volumen no mayor de $15 \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$, correspondiente a una pérdida de espesor promedio inferior a 3 mm.

Cuadro N° 44.

CUADRO DE ENSAYO DE DESGASTE

PROCEDIMIENTO	MUESTRA			
	D	D1	D2	D3
P_m : peso muestra saturadaseca (gr)	3.862	3.859	3.859	3.858
P_{me} : Peso de la muestra despues del ensayo (gr)	3.816	3.806	3.805	3.804
A : superficie de desgaste del adoquin (cm ²)	142.60	143.12	142.45	146.25
P_u : peso unitario sueto delmaterial de relleno (arena)	1.240	1.230	1.220	1.215
P_r : peso delmaterial de relleno (arena) (gr)	46	48	47	47
V : volumen delmaterial extraido del adoquin (cm ³) V=P_r/P_u	37.097	39.024	38.525	38.683
D : desgaste del adoquin (cm ³ /cm ²) D=V/A	0.260	0.273	0.270	0.265
perdidad de volumen cm ³ /50cm ²	13.01	13.63	13.52	13.23



Capítulo V

COSTOS Y PRESUPUESTO



CAPÍTULO V

COSTOS Y PRESUPUESTO

5.1. GENERALIDADES

Una de las múltiples funciones del ingeniero civil, es la de evaluar económicamente cada una de sus alternativas de solución buscando siempre el óptimo desarrollo del trabajo al menor costo posible.

En el presente capítulo se analizará el costo de la fabricación por metro cuadrado (50 unidades) de adoquín de cemento.

5.2. ANÁLISIS DE COSTO

Para la fabricación de los adoquines se utiliza una máquina vibradora con sus respectivos moldes, los materiales que se requieren para su construcción no consume derivados del petróleo solo requiere de materiales que se consiguen en diferentes canteras de nuestra localidad de preferencia las mencionadas en nuestro trabajo de investigación.

5.2.1. COSTO DIRECTO

El costo directo es la suma de los costos de materiales, mano de obra (incluyendo leyes sociales), equipos, herramientas, y todos los elementos requeridos. Este costo directo que se analiza para esta partida de concreto será por m² equivalente a (50 unidades).

5.2.1.1 MANO DE OBRA

- Para los adoquines de cemento elaborados por mano de obra calificada se consideró según su categoría en CAPECO.



5.2.1.2 MATERIALES

En el análisis de costos unitarios se consideró para los materiales el precio de mercado, tanto para el cemento, los agregados y la escoria de horno eléctrico (EHE).

5.2.1.3 EQUIPO Y HERRAMIENTAS

El costo de equipo y herramientas corresponde al consumo o desgaste que estas sufren al ser utilizadas durante la fabricación de los adoquines.

5.2.2. ANÁLISIS DE COSTO DE LA UNIDAD DE ADOQUÍN.

Partida	FABRICACION DE ADOQUINES		Costo unitario directo por: und				0.63
Rendimiento	und/DIA	MO. 600.0000	EQ. 600.0000				
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0000	0.0133	18.51	0.25	
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0133	13.94	0.19	
							0.44
Materiales							
0207010012	PIEDRA (CONFITILLO 3/8")	m3		0.0003	25.00	0.01	
0207020001	ARENA	m3		0.0004	30.00	0.01	
02130100010004	CEMENTO PORTLAND TIPO MS	bol		0.0003	21.00	0.01	
							0.03
Equipos							
03010000010002	MESA VIBRADORA DE 2HP	hm	1.0000	0.0133	6.00	0.08	
03010000010003	MEZCLADORA DE 3 PIE3	hm	1.0000	0.0133	5.00	0.07	
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.44	0.01	
							0.16

Figura N°19. Análisis de costo unitario del adoquín.



Partida	FABRICACION DE ADOQUINES CON ADICION DE EHE				Costo unitario directo por : m2		32.31
Rendimiento	m 2/DIA	MO. 12.0000	EQ. 12.0000				
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra							
0101010003	OPERARIO	hh	1.0001	0.6667	18.51	12.34	
0101010005	PEON	hh	1.0001	0.6667	13.94	9.29	
						21.63	
Materiales							
0207010012	PIEDRA (CONFITILLO 3/8")	m3		0.0182	25.00	0.46	
0207020001	ARENA	m3		0.0311	30.00	0.93	
02130100010004	CEMENTO PORTLAND TIPO MS	bol		0.0126	21.00	0.26	
0290130022	AGUA	m3		0.0150	10.00	0.15	
0290130028	ESCORIA DEHORNO ELECTRICO	ton		0.0006	1,500.00	0.90	
						2.70	
Equipos							
03010000010002	MESA VIBRADORA DE 2HP	hm	1.0001	0.6667	6.00	4.00	
03010000010003	MEZCLADORA DE 3 PIE3	hm	1.0001	0.6667	5.00	3.33	
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	21.63	0.65	
						7.98	

Figura N°20. Análisis de costo unitario del adoquín con su óptima adición de escoria



Capítulo VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1.1. INTRODUCCIÓN

En el presente Capítulo se analiza y se discute los resultados obtenidos, producto del trabajo de investigación realizado, este trabajo como se ha descrito en sus respectivos capítulos está enfocado al diseño y elaboración básicamente de los adoquines con adición de **EHE** para ser utilizados como una alternativa de pavimentación. Siendo el objetivo principal el mejoramiento de las propiedades físico mecánicas en el procedimiento de su elaboración técnica con materiales de nuestra zona. Para tal efecto en nuestro estudio se ha realizado como primer paso el análisis de los agregados, el método de diseño de mezcla más adecuado para la elaboración de los adoquines adicionando la EHE y después con las correcciones respectivas, la elaboración de los adoquines con adición de EHE. Además se analizará y se discutirá los ensayos realizados a las unidades de adoquín con respecto a su resistencia a la compresión, dimensionamiento, densidad y absorción; tratando de que estos cumplan con los requisitos de la Norma para adoquines de cemento NTP 399.604 y 399.611.



6.1.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

“La adición de EHE mejora las características físicas mecánicas de los adoquines de cemento que se usa en pavimentación de tránsito ligero y peatonal.”

Analizando los resultados, se determinó en base a los ensayos realizados al Adoquín con adición del 5% **EHE** con respecto al cemento el adoquín cumple con las expectativas respecto al mejoramiento a las propiedades físico y mecánicas.

Además los costos unitarios presentados demuestran que fabricar adoquines de cemento con adición de **EHE** es económicamente rentable.

6.1.3. SOBRE LOS AGREGADOS.

6.1.3.1. AGREGADO FINO

Se analizó el agregado fino de la cantera La Cumbre, la cual presenta una granulometría óptima que se encuentra dentro de los límites indicados en la Norma ASTM C-33. Además su comportamiento en el concreto se ha visto influenciado en un buen acabado de la unidad de adoquín vibrado.

- El peso específico del A.F es de 2.71 gr./cm^3 , que es aceptable y es mayor que 2.4 gr./cm^3 el cual es el valor mínimo aceptable que estipula la norma.
- La absorción del agregado fino es aceptable con un valor de 1.07% menor al 5% especificado por la norma NTP - 400.022.



- Presenta un contenido de humedad de 0.40% y un peso unitario suelto de 1595 Kg/m³, valor aceptable que es mayor que 1300 Kg/m³ y menor de 2100 Kg/m³.
- La Clasificación SUCS del agregado fino es SW el cual nos indica una arena Bien Graduada que presenta un aceptable módulo de finura de 2.49 que es mayor de 2.3 valor mínimo aceptado.

6.1.3.2. AGREGADO GRUESO

Se analizó el agregado grueso (confitillo) de la cantera, La Sorpresa, en la cual se hicieron ensayos de desgaste o ensayo de abrasión, Análisis Granulométrico, Peso Específico, Absorción, Peso Unitario Compactado y Suelto, de sus partículas.

El peso específico del AG es de 2.85 gr/cm³ de los cuales es aceptables y son mayores que 2.6 gr/cm³ lo cual indica que son agregados con buena densidad, la absorción es de 0.80 % que es aceptables que están por debajo del 3 % que es el valor máximo que estipula su respectiva Norma.



Cuadro N° 45 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS
CANTERA LA SORPRESA (CONFITILLO)

Ensayos Efectuados	Resultados Laboratorio	Especificaciones Técnicas	Aceptación
T. Nominal Máximo	3/8"	-	-
Peso. Esp.(gr/cm ³)	2.85	>2.6	acceptable
Absorción (%)	0.8	<3.0	acceptable
Peso Unitar. (Kg/m ³)	1813	1300 a 2100	acceptable
Contenido Hum. (%)	0.49	-	-
Clasificación SUCS	GP	-	-
Clasific. AASHTO	A1-a(o)	-	-
Abrasión (%)	13.6	<50	acceptable

6.1.4. SOBRE EL DISEÑOS DE MEZCLA PARA LA ELABORACIÓN DEL ADOQUÍN DE CEMENTO CON ADICION DE EHE.

El método de compactación mediante la vibración con la mesa vibradora, permite incrementar la resistencia de las unidades en comparación con la compactación en forma manual; al mismo tiempo la mesa vibradora permite fabricar unidades que cumplen con un menor contenido de vacíos es decir el bloque es más compacto y tiene una mayor compacidad; además nos permite tener un bloque que cumple con las tolerancias dimensionales, donde las deformaciones que pudieran presentarse en los bloques serían, por consiguiente, atribuibles sólo a la mano de obra utilizada.

Para el diseño de mezcla se utilizó el método de diseño de mezcla ACI.

6.1.4.1. DISEÑO DE MEZCLA

Se elegido método del ACI, con el cual con la adición de un 5% de EHE con respecto al cemento se logró incrementar la una resistencia a la compresión en las unidades de cemento diseñadas para un concreto



de 320 Kg/cm² a las adicionadas con **EHE** respecto al cemento que llegaron a una resistencia de 420 Kg/cm². La relación a/c inicial fue de **0.42**, con un asentamiento de 1" para una resistencia preliminar de 320 Kg/cm².

En los diseños de mezcla de los adoquines de cemento se hicieron las correcciones de agua necesarias. Al momento de la fabricación de los adoquines la mezcla necesita un menor contenido de agua para poder obtener una mayor resistencia y además un buen desmolde, una buena textura y un buen acabado de la unidad. Por esa razón para el diseño final se consideró una relación **a/c = 0.37**.

6.1.5. SOBRE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS ADOQUINES DE CEMENTO CON EHE

Una condición imprescindible que deben satisfacer las unidades es su uniformidad; no sólo en lo relativo a la constancia de sus dimensiones, especialmente su altura, sino también en cuanto a su resistencia, absorción, densidad, calidad, textura superficial y acabado. Los bloques fueron fabricados en conformidad con las Normas Peruanas NTP N° 399.604, NTP N° 399.611. De los ensayos realizados a la unidad de concreto se tiene los resultados que describen a continuación.

6.1.5.1. DIMENSIONAMIENTO

El procedimiento consistió en medir el largo, el ancho y la altura, con la precisión de 0.1 mm de cada espécimen entero; donde cada medida se obtiene como el promedio de cuatro medidas en los borde y al medio



en cada cara. Los resultados fueron aceptables y estos cumplieron con la NTP 399.604 para adoquines de concreto.

Las medidas de largo y ancho de los adoquines no variaron en más de 1.5 mm y la variación del espesor fue menor a ± 3.2 mm, con respecto a las medidas nominales fijadas en nuestro producto. Teniéndose como variación de 1.05 mm, 1.20 mm y 0.82 mm para el largo ancho y espesor respectivamente para los adoquines **20x10x08 cm**.

6.1.5.2. DENSIDAD

Nos permite determinar si un bloque es pesado o liviano, la densidad de los adoquines y los adicionados con el 5% **EHE** respecto al cemento de **8x10x20 cm** tiene una densidad de **2.34 gr/cm³**. Estos valores están dentro de las especificaciones que estipula la Norma.

La Densidad además indica el índice de esfuerzo de la mano de obra o de equipo requerido para su manipulación desde su fabricación hasta su colocación como pavimento.

6.1.5.3. ABSORCIÓN

La absorción se mide como el peso del agua que ha absorbido el Adoquín al estar sumergido en ella, esta se expresa en porcentaje del peso seco del adoquín. Esta propiedad se relaciona con la permeabilidad de la pieza y con la resistencia que puede desarrollar.

La medición de la absorción se hizo según la Norma NTP 399.604. Que menciona la norma de **5 %** como promedio de tres muestras y de **7%** por unidad individual de adoquín. Los adoquines y los adoquines con la adición óptima de 5% **EHE** con respecto al cemento de 8x10x20 tiene



una absorción de **3.31%** y **3.39%**. que cumple la norma. Y las unidades por individuales de de los adoquines con el 5% de EHE respecto al cemento fueron (**3.57, 3.39, 3.21**) cumplen con la Norma que son menores de **7%** por individual.

6.1.5.4. RESISTENCIA AL DESGASTE

La resistencia al desgaste del adoquín y el mejorado con **EHE**, tuvo un valor aceptable con un desgaste de **13.01** y **13.63 cm³/50cm²**, que es menor al valor que menciona la norma ASTM C 418 para determinación de resistencia al desgaste por el método del chorro de arena.

Cuando se ensayan en conformidad con la Norma ASTM C 418, los especímenes deben tener una pérdida de volumen no mayor de 15 cm³/50cm².

6.1.5.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión axial NTP 399.604, se determinó mediante la aplicación de una fuerza de compresión sobre la unidad en la misma dirección en que trabaja en el pavimento también se ensayaron en vertical.

El valor de la resistencia a la compresión del adoquín y con la adición de EHE a los 28 días para el adoquín de 8x10x20 cm fue de 415 Kg/cm² y 420 Kg/cm² Valores que están dentro de lo que estipulado Norma para adoquines cuyos resultados ya han sido presentados en el capítulo IV .



6.1.6. SOBRE EL COSTO DE FABRICACIÓN DEL ADOQUÍN CON EHE

Los costos por m² (50 unidades) demuestran que fabricar unidades de adoquines con la adición del 5% de **EHE** con el apoyo de una mesa vibradora resulta económicamente satisfactorio en comparación con los precios por unidad de adoquín prefabricado por algunas empresas de producción masiva. Cuyos resultados ya han sido presentados en el capítulo V.

6.1.7. SOBRE LA UTILIZACIÓN DE UNA MESA VIBRADORA PARA LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES

La construcción de una mesa vibradora para elaborar los adoquines no es tecnológicamente complicada de construir en nuestra localidad, pero si se debe contar con un asesoramiento calificado y adecuado para encargar la construcción de esta.

6.1.8. SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL.

El presente de trabajo de investigación será de mucha importancia porque contribuirá a la utilización de la escoria de horno eléctrico (**EHE**) un producto que es desechado por la siderúrgica y que puede ser utilizado en un producto como el adoquín que a su vez ayuda a mejorar y promover el desarrollo urbanístico y ornamental de una determinada zona donde se instalen los adoquines de cemento que serán utilizados en una pavimentación, donde solo se requiere de materiales básicos para su colocación, pero que su desperdicio y material excedente como todo material tiene que ser eliminado o reciclado.



6.1.9. SOBRE LA APLICACIÓN DIDÁCTICA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Los Adoquines de Cemento con adición de **EHE** como se ha mencionado en el desarrollo de la tesis y como análisis se puede concluir que el uso de este elementos (**EHE**) puede ser una alternativa como adición para mejorar las propiedades de los adoquines de pavimentación.

6.1.9.1 USOS DEL ADOQUÍN :

- Como pavimento para tránsito peatonal (veredas, patios, plazas, calles peatonales etc.).
- Como pavimento para vías de tránsito ligero y pesado.
- Como pavimento para estacionamiento.
- Como elementos decorativos en patios externos e internos de industrias.

6.1.9.2 INFORMACIÓN TÉCNICA

- Mayor resistencia a la compresión.
- buena compactación por tener menor contenido de vacíos.
- Baja permeabilidad con un porcentaje de absorción menor al 5% que especifica la norma NTP 399.604.
- Buena resistencia al desgaste y mayor durabilidad por tener menos agua de amasado y ser más compacto.
- Buena textura y acabado, manteniendo una superficie rugosa.



- Buen dimensionamiento permitiendo tener unidades con variaciones menores a las especificadas por la norma NTP 399.604 en cuanto a su longitud, ancho y espesor.
- Un buen producto a menor costo.

6.2. **RELACIÓN DE CUADROS Y GRÁFICOS FINALES**

CUADRO

DESCRIPCIÓN

- Nº 46 Análisis comparativo de los ensayos de resistencia a la compresión de los adoquines con diferentes adiciones de EHE.
- Nº 47 Análisis final del adoquín con el óptimo contenido de EHE en el diseño.

GRÁFICO

DESCRIPCIÓN

- Nº 6.2.1 Análisis comparativo de los ensayos de resistencia a la compresión con diferentes adiciones de EHE.
- Nº 6.2.2 Variación en porcentaje de resistencia del concreto a la compresión con diferentes adiciones de EHE.

**Cuadro N° 46 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ENSAYOS DE
 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS ADOQUINES CON
 DIFERENTES ADICIONES DE EHE.**

DISEÑO DE MEZCLA		RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN kg/cm ²
DOSIFICACION	RELACIÓN a/c	Kg/cm ²	EDAD (Dias)
	EFFECTIVO		28
0%	0.37	320	415
5%	0.37	320	420
10%	0.37	320	392
15%	0.37	320	405



**Figura N°21 Análisis comparativo de los ensayos de resistencia a la
 compresión con diferentes adiciones de EHE.**

CUADRO Nº 47 ANÁLISIS FINAL DEL ADOQUÍN CON EL ÓPTIMO CONTENIDO DE EHE EN EL DISEÑO.

Ensayos Efectuados	Resultados Laboratorio	Especificaciones Técnicas	Aceptación
Clasificación	Tipo II	E = 8cm	aceptable
Resistencia a la Compresión	420 kg/cm ²	TI ≥ 320 Kg./cm ²	aceptable
Desgaste	13.63 cm ³ /	≤ 15 cm ³ / 50	aceptable
Densidad	2.34 gr/cm ³	≥ 2.3 gr/cm ³	aceptable
Absorción (%)	3.39	<5.0	aceptable
Variación dimensional	Largo =	L ≤ 1.6 mm	aceptable
	Ancho = 1.20 mm	A ≤ 1.6 mm	
	Espesor = 0.82 mm	E ≤ 3.2 mm	

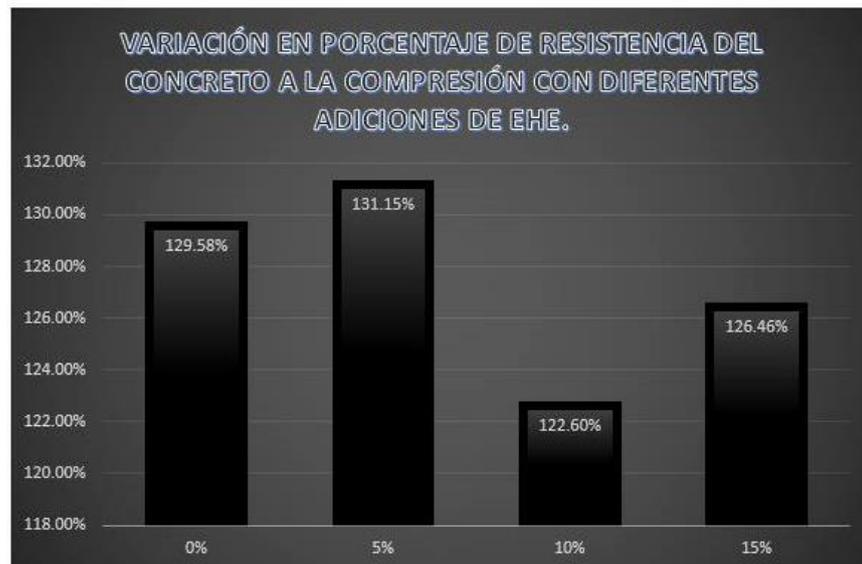


Figura Nº22 Variación en porcentaje de resistencia del concreto a la compresión con diferentes adiciones de EHE.



Capítulo VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES:

- *Se ha determinado que la adición de escoria de horno eléctrico vibrocompactado en la fabricación de adoquines de cemento mejora notablemente las características físico mecánicas de los adoquines de cemento, por lo que la hipótesis de la investigación se da por aceptada.*

- *Tras evaluar la resistencia de los adoquines patrón y los adicionados con el óptimo contenido de EHE se demuestra que estos últimos aumentan su resistencia en un 31.25% respecto a la resistencia de diseño, estas resistencias además cumplen con la norma NTP 399.604.*

- *Se concluye que la densidad de los adoquines de cemento convencional y los adoquines con adiciones de EHE, ambos cumplen con lo estipulado en la NTP 399.604, presentando ambas unidades una fácil manipulación.*

- *El método de diseño de mezcla utilizado para la fabricación de adoquín con adición de escoria de horno eléctrico fue el método ACI ya que este tiene un mejor comportamiento en la textura y acabado por presentar un adecuado porcentaje de agregado fino.*

- *Se concluye que las proporciones de mezcla encontradas en nuestro diseño, nos permite obtener una óptima combinación de los componentes del concreto 1:1.4:1.6 (cemento : arena : confitillo) y 0.05 de **EHE** respecto al cemento. Teniendo como relación agua / cemento*



de diseño final de 0.37, que nos permita alcanzar la resistencia para los adoquines.

- ▲ Los adoquines elaborados con el confitillo de la cantera La Sorpresa con adición óptima del 5% de **EHE** respecto al cemento, tienen una absorción con un valor mínimo de 3.39 %, menor al 5 % estipulado por la Norma NTP 399.604 para adoquines de concreto por lo que se concluye que son unidades impermeables dentro los parámetros establecidos en la norma indicada.
- ▲ La resistencia del adoquín con el óptimo contenido de escoria de horno eléctrico (**EHE**) a los 7 días representa el 127.8 % de la resistencia de diseño, para concreto elaborado con cemento tipo MS; valor que nos permite realizar ensayos de calidad a corta edad y poder hacer los ajuste de mezcla correspondientes, si fuera el caso.
- ▲ Se puede concluir que los adoquines con la óptima adición de escoria de horno eléctrico (**EHE**) y la mesa vibradora permite la fabricación de unidades de concreto que cumplen con las resistencias establecidas por la norma NTP 399.611 y NTP 399.604 partiendo de un diseño de mezcla menor a la especificada como es el caso de nuestro diseño que partiendo de una resistencia de diseño de 320 kg/cm² hemos incrementado la resistencia hasta 420 kg/cm², demostrando así los beneficios de la Vibrocompactación y la adición de la escoria.
- ▲ La fabricación de los adoquines con óptimo contenido de escoria de horno eléctrico realizados en este proyecto nos demuestra que es



posible la utilización de este material para la elaboración de las unidades mejorando con su adición sus características físico mecánicas.

- ▲ El Adoquín de concreto con adición óptima de escoria de horno eléctrico según los ensayos y costos unitarios elaborados presentados en el capítulo IV y V respectivamente, cumple con las condiciones técnicas y económicas necesarias para ser empleados en la Pavimentación para un tránsito peatonal y vehicular ligero, siendo esta una alternativa de pavimentación de bajo costo y de fácil fabricación al disminuir su costo de fabricación en un 20%.
- ▲ De los controles de calidad realizados a los adoquines se concluye que estos satisfacen los requisitos de absorción resistencia a la compresión, densidad y dimensionamiento en conformidad con la norma NTP 399.604. y NTP 399.611.



7.3 RECOMENDACIONES:

- ▲ Se recomienda para que el Adoquín de Cemento con la óptima adición de escoria de horno eléctrico (EHE) 5% vibrocompactado cumpla con los requisitos de Resistencia a la Compresión y Desgaste, esté deberá ser elaborado teniendo en cuenta el método de compactación y respetando las dosificaciones presentadas en este trabajo de investigación.
- ▲ Se recomienda tener un módulo de finura de la arena que no sea menor al especificado por la Norma de 2.4 para que este no afecte la resistencia del concreto, pero también que este se vea influenciado en una buena distribución de sus partículas tratando en lo posible, de usar arena con granulometría continua con la finalidad de obtener superficies de buena textura.
- ▲ Se recomienda utilizar confitillo angular, limpio, de textura rugosa y dura, todo esto para mejor la adherencia potencial en el concreto, agregados angulares utilizados en nuestro diseño demuestran lo mencionado, y facilitan el acomodo de las partículas al momento de ser compactado el concreto mediante la vibración.
- ▲ Para conservar la uniformidad de los bloques que dependen en gran medida de los agregados deben verificarse la calidad y la granulometría del agregado empleado, ya que no siempre es constante tratando de hacer en lo posible diseños de mezcla preliminares para ver el comportamiento del concreto.



- ▲ Se recomienda que el agregado grueso tenga un buen comportamiento al desgaste ya que este también va influir en la resistencia de los adoquines de concreto, para nuestro caso los agregados analizados cumplen con este requisito según los ensayos presentados en el capítulo IV. donde el valor obtenido ha sido de 13.60% de desgaste para el Confitillo de la Cantera de La Sorpresa recomendándose el uso de esta cantera para la fabricación de adoquín.
- ▲ Será necesario controlar durante la producción, las proporciones de los materiales y el porcentaje de adición óptima de 5% de escoria de horno eléctrico (**EHE**) de la mezcla en base al Método de diseño **ACI**, los cuales se recomiendan que las proporciones sean por peso, sin embargo en la mayoría de los casos esta se realiza por volumen, tratando de cubicar los materiales con moldes de un pie cúbico para tener una proporción más exacta que nos permita alcanzar la resistencia deseada.
- ▲ se propone como mezcla de diseño óptima la dosificación 1:1.4:1.6 (cemento: arena: piedra) y 0.05 de escoria de horno eléctrico en peso, y una relación agua / cemento efectiva de 0.37. para alcanzar la resistencia de diseño y el mejoramiento de las propiedades físicas mecánicas de las unidades.
- ▲ Se recomienda que para tener un buen desmolde y un buen acabado, es necesario dosificar muy cuidadosamente el contenido de agua de la mezcla, para que ésta no resulte ni muy seca ni demasiado húmeda; en el primer caso se corre el peligro de la figuración o el



desmoldamiento del bloque recién fabricado, en el segundo que el material se asiente deformando las dimensiones.

- ▲ Para obtener bloques de concreto que cumple con las tolerancias dimensionales y que el proceso de desmolde sea inmediato, es necesario controlar que el agregados no tenga exceso de material fino y que la dosificación se realice con la cantidad mínima necesaria de agua, para evitar la rotura de los bloques al ser desmoldados.
- ▲ Se recomienda que la compactación del concreto con la mesa vibradora en su respectivo molde se realice en una forma aceptable para que nos permita alcanzar la resistencia deseada, tratando de dar por concluida la vibración cuando se presente una película de agua en la superficie del adoquín en estado fresco, además esta deberá estar acompañada con una adecuada compactación con la tapa del molde para obtener un buena acabado del adoquín.
- ▲ Se recomienda realizar ensayos de resistencia preliminares en testigos de adoquines base para analizar el comportamiento de la resistencia del concreto y hacer las correcciones respectivas antes de la adición de la escoria de horno eléctrico (**EHE**), para los Adoquines fabricados con Cemento Pórtland tipo MS Pacasmayo la resistencia adquirida a los 7 días con la adición óptima del 5% de (**EHE**) representa aproximadamente el 127.8 % de su resistencia de diseño.
- ▲ Se debe controlar la duración del vibrado así como la potencia del motor, ya que otra de las causas de la rotura se debe a que el bloque no esta suficientemente consolidado, es decir, la vibración ha sido de poca



duración. El vibrado se debe realizar hasta que se forme una película de agua en la superficie.

- ▲ Se debe verificar la resistencia a la compresión y la absorción, de los adoquines con la adición óptima de escoria de horno eléctrico vibrocompactados en trabajos importantes de acuerdo a lo establecido en la correspondiente Norma de ensayos NTP 399.604.
- ▲ Para que los bloques adquieran una buena resistencia, es necesario que estén constantemente humedecidos por los menos durante 7 días; Luego de 28 días se apilan en zonas más apropiadas para su almacenamiento.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

-  NORMA TECNICA CE.010 pavimentos.
-  SALCEDO DE LA VEGA Carlos, "Tecnología del Concreto", Editorial San Marcos
-  .C.I. Capitulo Peruano, "Tecnología del Concreto",
-  RIVVA LOPEZ Enrique, "Diseño de Mezclas", Editorial Hozlo S.C.R.L., Perú, 1999.
-  Tesis: "Utilización de la Escoria de SiderPerú como agregado fino en el mortero", de Rosa Mariela Aramburú García. UNI-1992.
-  Tesis: "Fabricación y control de calidad según las Normas ITINTEC del ladrillo de arcilla en la provincia del Santa", de Alva Valentín, Mark Teobaldo y Choy Hui Isabel Rosana. UNS-2002.
-  Tesis: "Efecto del uso de escorias de la siderurgia en pavimentaciones de Chimbote y nuevo Chimbote", de Flores Campos Raúl Elías y Lozano Villegas Rogers Michael. UNS-2007.



ANEXO A CUADROS DE DISEÑO



ANEXO B LISTA DE CUADROS Y FIGURAS



ANEXO C

PLANOS



ANEXO D

PANEL

FOTOGRAFÍCO



TABLA N° 4
Volumen Unitario del Agua

Asentamiento	Agua en l/m ³ , para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicados.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin Aire Incorporado								
1" á 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3 á 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" á 7"	243	228	216	202	190	178	160	...
Concretos con Aire Incorporado								
1" á 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" á 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" á 7"	216	205	197	184	174	166	154	...

FUENTE: DISEÑO DE MEZCLAS – ENRIQUE RIVVA LOPEZ

TABLA N° 5
Contenido de Aire Atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

FUENTE: DISEÑO DE MEZCLAS - ENRIQUE RIVVA LOPEZ



TABLA N° 6

Relación Agua-Cemento por Resistencia

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

FUENTE: DISEÑO DE MEZCLAS - ENRIQUE RIVVA LOPEZ



LISTADO DE CUADROS

- Cuadro N°01. Requisitos para agua de mezcla NTP 339.088.
- Cuadro N°02. Granulometría para afirmados /AASTO M-47.
- Cuadro N°03. Granulometría para agregados de sub base/ ASTM D-1241.
- Cuadro N°04. Requerimiento de ensayos especiales de sub base granular.
- Cuadro N°05. Granulometría para agregado de base / ASTM D-1241.
- Cuadro N°06. Requisitos granulométricos del material para la capa de soporte a los adoquines.
- Cuadro N°07. Requisitos granulométricos del material para el sellado de la junta de los adoquines.
- Cuadro N°08. Composición química del cemento portland
- Cuadro N°09. Porcentajes típicos de óxidos componentes del cemento portland.
- Cuadro N°10. Características químicas y límites permisibles del cemento Portland.
- Cuadro N°11. Porcentaje de óxidos del cementó Portland tipo MS.
- Cuadro N°12. Peso específico del agregado fino.
- Cuadro N°13. Peso unitario del agregado fino.
- Cuadro N°14. Contenido de humedad del agregado fino.
- Cuadro N°15. Absorción del agregado fino.
- Cuadro N°16. Requisito granulométrico / ASTM C-33 (AGR. FINO).
- Cuadro N°17. Análisis granulométrico del agregado fino.
- Cuadro N°18. Peso unitario compactado del agregado grueso.
- Cuadro N°19. Peso unitario suelto del agregado grueso.
- Cuadro N°20. Contenido de humedad del agregado grueso.
- Cuadro N°21. Absorción del agregado grueso.
- Cuadro N°22. Requisitos granulométricos ASTM C-33 para el agregado grueso.
- Cuadro N°23. Análisis granulométrico del agregado grueso.
- Cuadro N°24. Requisito granulométrico /ASTM C-33 (Desgaste).
- Cuadro N°25. Abrasión del agregado grueso.
- Cuadro N°26. Granulometría de la EHE desmetalizada.



- Cuadro N°27. Peso unitario suelto de la escoria de horno eléctrico.
- Cuadro N°28. Peso específico de la escoria de horno eléctrico.
- Cuadro N°29. Contenido de humedad de la escoria de horno eléctrico.
- Cuadro N°30. Requisitos para agua de mezcla - NTP 339.008.
- Cuadro N°31. Granulometría para afirmados / AASHTO M-47.
- Cuadro N°32. Granulometría para agregados de sub base / astm d-1241.
- Cuadro N°33. Requerimientos De Ensayos Especiales De Sub Base Granular.
- Cuadro N°34. Granulometría Para Agregados De Base / Astm D-1241.
- Cuadro N°35. Requisitos Granulométricos para la capa de soporte del adoquín.
- Cuadro N°36. Requisitos Granulométricos para el sellado de la junta del adoquín.
- Cuadro N°37. Espesor y resistencia a la compresión / ntp nº 399.611
- Cuadro N°38. Resumen de los agregados.
- Cuadro N°39. Determinación del óptimo contenido de escoria como adición.
- Cuadro N°40. Dimensionamiento y variación longitudinal de los adoquines.
- Cuadro N°41. Densidad de los adoquines con adición de EHE.
- Cuadro N°42. Absorción de los adoquines con adición de EHE.
- Cuadro N°43. Resistencia a la compresión.
- Cuadro N°44. Cuadro de ensayo de desgaste.
- Cuadro N°45. Análisis de los ensayos realizados cantera la Sorpresa (confitillo).
- Cuadro N°46. Análisis comparativo de los ensayos de resistencia a la compresión de los adoquines con diferentes adiciones de escoria.
- Cuadro N°47. Análisis final del adoquín con óptimo contenido de EHE en el diseño.

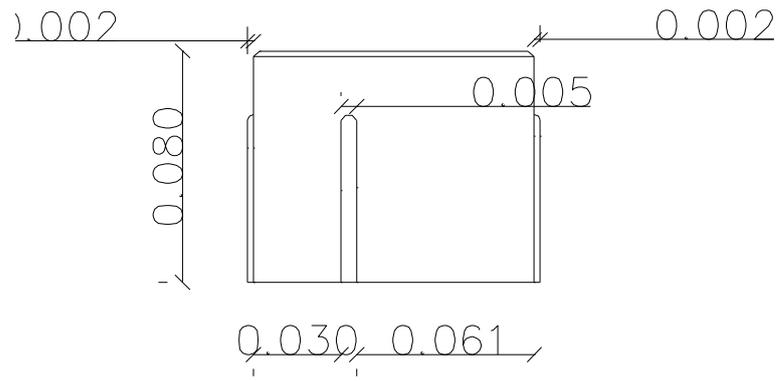
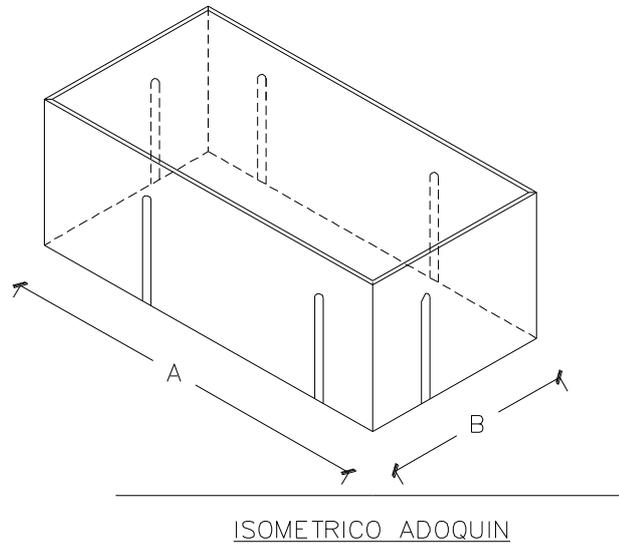


LISTADO DE FIGURAS

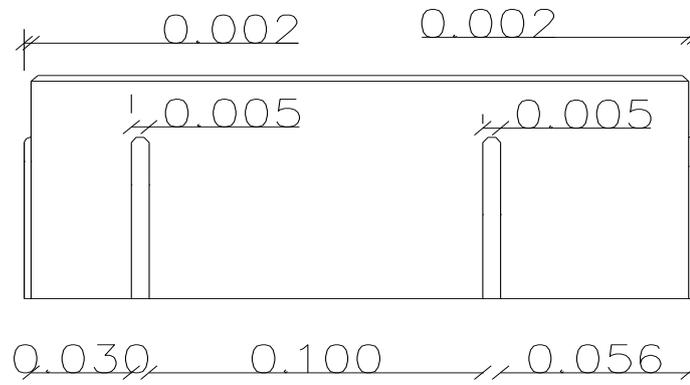
- Figura N°01. Compacidad
- Figura N°02. Esquema de clasificación de escorias
- Figura N°03. Vías de fabricación de acero en SiderPerú
- Figura N°04. Fabricación de acero vía alto horno.
- Figura N°05. Fabricación de acero vía Horno Eléctrico.
- Figura N°06. Acondicionamiento de la Carga en Horno Eléctrico
- Figura N°07. Esquema de proceso de producción.
- Figura N°08. Apariencia del adoquín.
- Figura N°09. Aumento del volumen del hierro en función al estado de oxidación.
- Figura N°10. Grafica granulométrica agregado fino.
- Figura N°11. Proceso de molienda de la escoria de horno eléctrico.
- Figura N°12. Mesa vibratoria artesanal.
- Figura N°13. Mesclado de materiales manual.
- Figura N°14. Consistencia del concreto (slump)
- Figura N°15. Molde metálico.
- Figura N°16. Moldeado de adoquines.
- Figura N°17. Fraguado de los adoquines.
- Figura N°18. Curado de los adoquines.
- Figura N°19. Análisis costo unitario del adoquín.
- Figura N°20. Análisis costo unitario del adoquín con su optima adición de escoria.
- Figura N°21. Análisis comparativo de los ensayos de resistencia a la compresión de diferentes adiciones de EHE
- Figura N°22. Variación en porcentaje de resistencia del concreto a la compresión en diferentes adiciones de EHE.



DIMENSIONAMIENTO DEL ADOQUIN



LADO B

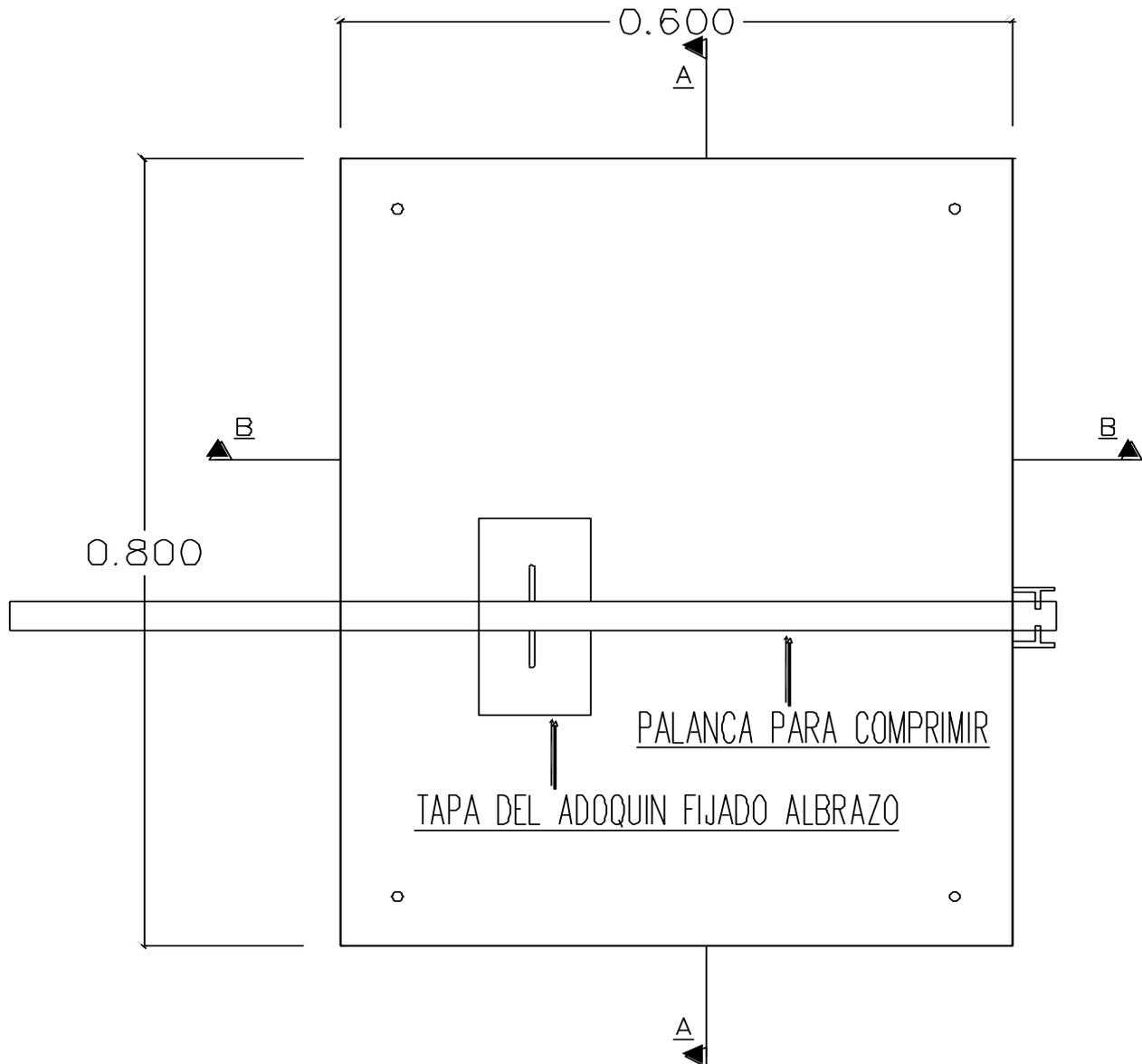


LADO A



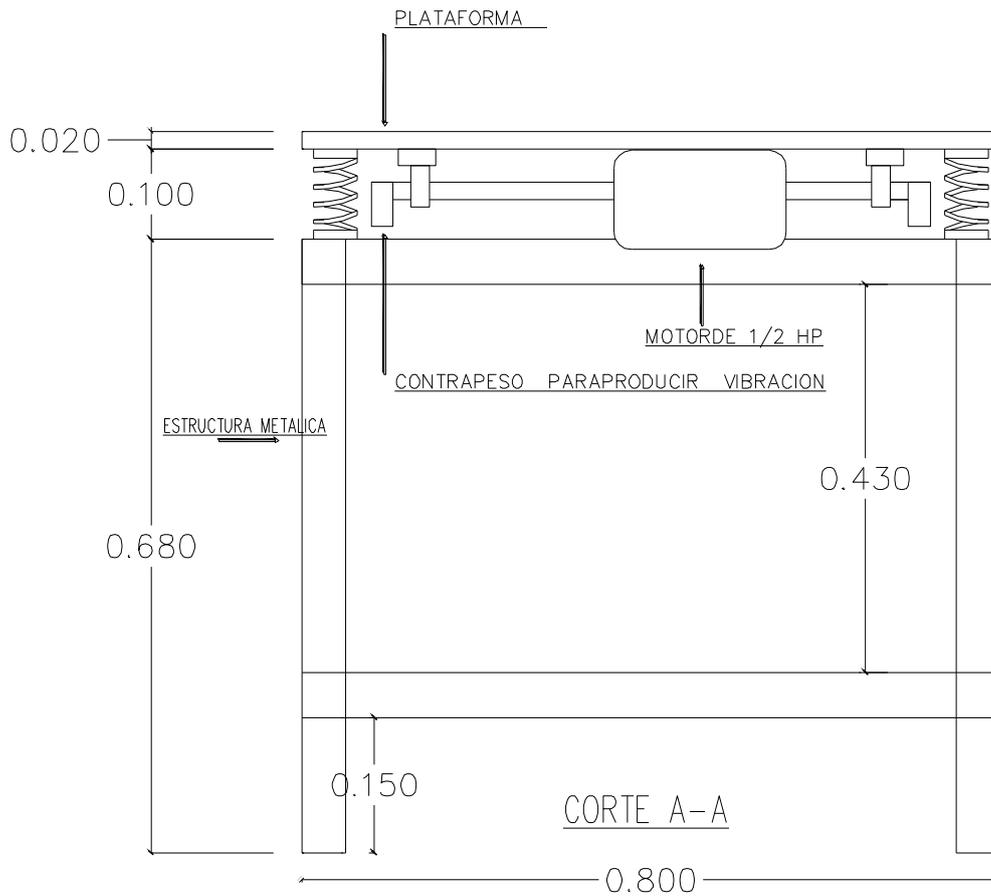
DIMENSIONAMIENTO DE LA MESA VIBRATORIA

PLANTA MESA VIBRATORIA





CORTE A - A DE LA MESA VIBRATORIA





CORTE B - B DE LA MESA VIBRATORIA

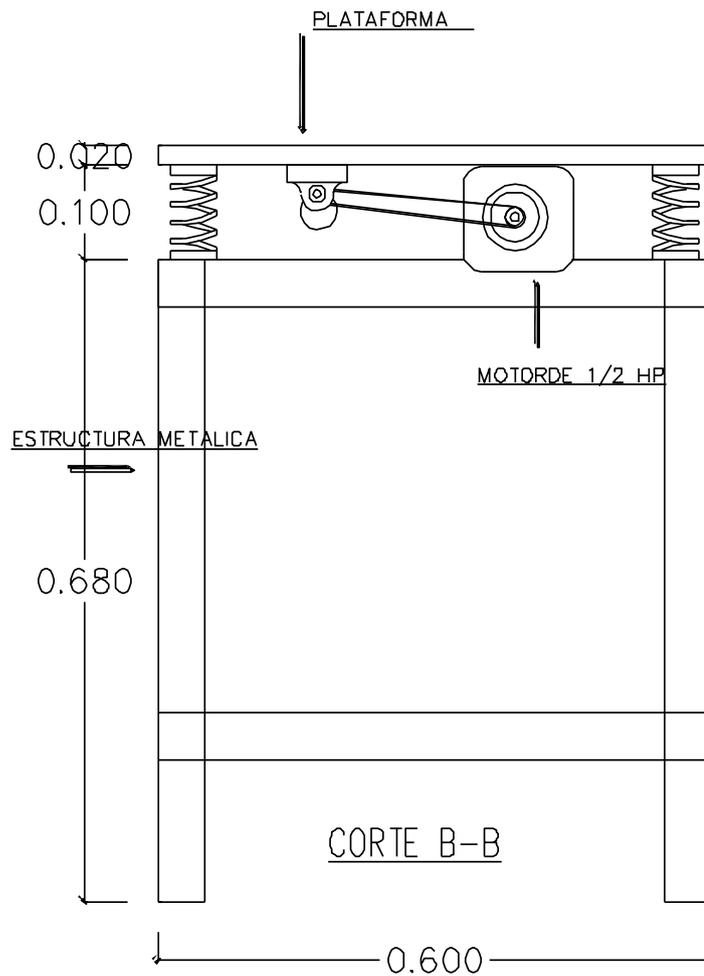




Foto N° 01.- se observa la construcción de la meza vibratotria.



Fig. N°02.- Escoria empleada en la fabricación de los adoquines



Fig. N°03.- Se aprecia los ensayos realizados a los materiales



Fig. N°04.- Peso suelto y varillado de los agregados



Fig. N° 05.- Tamizado de los agregados



Fig. N°06.- Se aprecia la máquina de los ángeles empleada en la molienda de la escoria



Fig. N°07.- Se muestra la dosificación de cada componente para la preparación de los adoquines



Fig. N°08.- Se observa la mezcla manual de los materiales en la fabricación de la escoria



Fig. N° 09.- Mezclado de materiales para la fabricación de adoquines con trompo



Fig. N°10.- Vibrocompactación del adoquín



Foto N°11.- Determinación de la trabajabilidad de la mezcla (Slump)



Fig. N°12.- Curados de los elementos de adoquines fabricados



Foto N°13.- Se realizó el dimensionamiento de adoquines



Foto N°14.- Se realizó el ensayo de desgaste de los adoquines



Foto N°15.- Se realizó el ensayo de densidad de adoquines



Foto N°16.- Se muestra el procedimiento del ensayo de desagaste al adquin mediante el método de chorro de arena a presión.



Fig. N°17.- Secado de los adoquines para obtener su contenido de humedad



Fig. N°18.- Ensayos de resistencia a la compresión de los distintos adoquines fabricados