



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“INFLUENCIA DEL ÓXIDO DE CALCIO EN LA TRABAJABILIDAD, FRAGUADO, COMPRESIÓN, DENSIDAD, POROSIDAD Y ABSORCIÓN DEL CONCRETO PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES, TRUJILLO 2017”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Autora:

Br. Adriana Jesús Durand Ciudad

Asesor:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú

2017

APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Adriana Jesús Durand Ciudad**, denominada:

**“INFLUENCIA DEL ÓXIDO DE CALCIO EN LA TRABAJABILIDAD,
FRAGUADO, COMPRESIÓN, DENSIDAD, POROSIDAD Y ABSORCIÓN DEL
CONCRETO PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES, TRUJILLO 2017”**

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

ASESOR

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

JURADO

PRESIDENTE

Ing. Ricardo Daniel Ávalos Alayo

JURADO

Ing. Roger Estuardo Ramírez Mercado

JURADO

DEDICATORIA

*A **Dios**, por estar siempre conmigo y ser mi guía en mi sendero, dándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar en el intento.*

*A mis padres **Carlos Durand** y **Maruja Ciudad**, y mi hermana **Sandra Durand**; quienes siempre me han apoyado incondicionalmente en todo momento. Por sus enseñanzas, principios y motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por protegerme durante todo mi camino y darme las fuerzas para superar los obstáculos, haciéndome posible culminar mi vida universitaria con éxito.

A mis padres, Carlos y Maruja, por el apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos y enseñarme a no rendirme jamás, a ser perseverante para alcanzar todas mis metas.

A mi hermana Sandra, mi mejor amiga, por acompañarme en cada momento, compartiendo alegrías y tristezas, demostrándome que siempre puedo contar con ella.

Al ingeniero Iván Vásquez Alfaro, quien ha sido pieza fundamental para la culminación de esta investigación. Gracias por la paciencia, por los conocimientos brindados, por la orientación, por su manera de trabajar y por la motivación durante el desarrollo de la tesis.

A la empresa Sika por invertir en la investigación de mi trabajo, proporcionándome el aditivo Sika ViscoCrete-3330, el que fue de mucha utilidad para poder determinar el comportamiento del óxido de calcio a mayores porcentajes de adición.

A mis amigos y compañeros con los que empecé esta vida universitaria. Quienes en estos 5 años me brindaron su apoyo y una mano amiga con la cual contar en todo momento.

Adriana Jesús Durand Ciudad

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	xiii
CAPITULO I	15
1. INTRODUCCION	15
1.1. Realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema	20
1.3. Justificación	21
1.4. Limitaciones	24
1.5. Objetivos.....	24
CAPITULO II	26
2. MARCO TEÓRICO	26
2.1. Antecedentes	26
2.2. Bases teóricas.....	29
2.2.1. Concreto.....	29
2.2.2. Componentes del concreto.....	30
2.2.2.1. Agregados	30
2.2.2.2. Cemento portland.....	31
2.2.2.3. El agua	33
2.2.2.4. Aditivos.....	33
2.2.2.4.1. Aditivos reductores de agua	34
2.2.2.4.2. Adiciones cementosas suplementarias	35
2.2.3. Propiedades del concreto.....	37
2.2.3.1. Concreto en estado fresco	37
2.2.3.2. Concreto en estado endurecido.....	39
2.2.4. La caliza	41
2.2.4.1. Derivados de la caliza.....	41
2.2.5. Óxido de calcio.....	42
2.2.6. Cenizas de hueso calcinado.....	42
2.3. Hipótesis.....	44
2.3.1. Formulación de la hipótesis.....	44
CAPITULO III	45
3. METODOLOGÍA	45
3.1. Operacionalidad de variables	45
3.1.1. Variable independiente	45
3.1.2. Variables dependientes.....	45
3.2. Tipo de diseño de investigación	46
3.3. Unidad de estudio.....	46
3.4. Población.....	46

3.5.	Muestra.....	46
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	48
3.6.1.	Técnicas de recolección y análisis de datos.....	48
3.6.2.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	51
3.6.2.1.	Proceso experimental.....	51
3.6.2.2.	Caracterización de la materia prima.....	52
3.6.2.2.1.	Agregados.....	53
3.6.2.2.2.	Óxido de calcio.....	63
3.6.2.2.3.	Súperplastificante.....	63
3.6.2.2.4.	Cemento.....	63
3.6.2.2.5.	Agua.....	64
3.6.2.3.	Elaboración de diseño de mezcla.....	64
3.6.2.4.	Ensayos para evaluar las propiedades del concreto.....	69
3.6.2.4.1.	Propiedades en estado fresco.....	69
3.6.2.4.2.	Propiedades en estado endurecido.....	70
3.7.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos.....	72
3.7.1.	Media aritmética.....	72
3.7.2.	Varianza.....	73
3.7.3.	Desviación estándar.....	73
3.7.4.	Coefficiente de variación.....	73
CAPITULO IV.....		75
4.	RESULTADOS.....	75
4.1.	Caracterización de la materia prima.....	75
4.1.1.	Agregados.....	75
4.1.1.1.	Agregado fino.....	75
4.1.1.2.	Agregado grueso.....	76
4.1.2.	Agua.....	77
4.1.3.	Óxido de calcio.....	78
4.2.	Diseño de mezcla.....	79
4.3.	Propiedades en estado fresco.....	79
4.3.1.	Trabajabilidad.....	79
4.3.2.	Tiempo de fraguado.....	80
4.4.	Propiedades en estado endurecido.....	81
4.4.1.	Resistencia a compresión.....	81
4.4.2.	Absorción.....	82
4.4.3.	Porosidad.....	82
4.4.4.	Densidad en seco.....	83
4.5.	Costos de producción del óxido de calcio.....	84
4.5.1.	Recolección.....	84
4.5.2.	Pre-calcinación.....	85

4.5.3.	Molienda	85
4.5.4.	Tamizado.....	86
4.5.5.	Calcinación	86
4.6.	Evaluación económica de las alternativas	87
CAPITULO V		88
5. DISCUSIÓN.....		88
5.1.	Caracterización de la materia prima	88
5.1.1.	Agregado fino.....	88
5.1.2.	Agregado grueso	90
5.1.3.	Cemento.....	92
5.1.4.	Súperplastificante	94
5.1.5.	Óxido de calcio.....	94
5.1.6.	Agua.....	100
5.2.	Diseño de Mezcla	100
5.3.	Propiedades en estado fresco	102
5.3.1.	Trabajabilidad	102
5.3.2.	Tiempo de fraguado.....	104
5.4.	Propiedades en estado endurecido.....	108
5.4.1.	Resistencia a compresión	108
5.4.2.	Densidad	110
5.4.3.	Porosidad y absorción	112
5.5.	Evaluación económica de las alternativas	113
CONCLUSIONES.....		115
RECOMENDACIONES		116
REFERENCIAS		117
APÉNDICE		125
APÉNDICE 1: Caracterización de agregados		125
APÉNDICE 2: Resultados de los ensayos		133
ANEXOS		143
ANEXO 1: Panel fotográfico		143
ANEXO 2: Ficha técnica del aditivo súper plastificante		150
ANEXO 3: Ficha técnica del cemento portland tipo I		152
ANEXO 4: Ficha técnica de microsílíce RHEOMACSF100.....		153
ANEXO 5: Certificado de ensayos DTA y TG de hueso bovino		155
ANEXO 6: Certificado de ensayos realizados en la Universidad Nacional de Trujillo		156
ANEXO 7: Certificado de ensayos realizados en la Universidad Privada del Norte		157
ANEXO 8: Normativa para el procedimiento experimental		158

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Componentes del cemento</i>	31
<i>Tabla 2: Compuestos principales del cemento portland</i>	32
<i>Tabla 3: Consistencia del concreto</i>	38
<i>Tabla 4: Componentes del hueso bovino</i>	43
<i>Tabla 5: Operacionalización de la variable independiente</i>	45
<i>Tabla 6: Operacionalización de variables dependientes</i>	46
<i>Tabla 7: Matriz de diseño experimental para estado fresco</i>	50
<i>Tabla 8: Matriz de diseño experimental para estado endurecido</i>	50
<i>Tabla 9: Análisis granulométrico de los agregados</i>	54
<i>Tabla 10: Contenido de humedad</i>	55
<i>Tabla 11: Volumen del molde de peso unitario</i>	56
<i>Tabla 12: Peso unitario suelto y compactado del agregado</i>	56
<i>Tabla 13: Gravedad específica y absorción del agregado grueso</i>	57
<i>Tabla 14: Gravedad específica y absorción del agregado fino</i>	59
<i>Tabla 15: Número de esferas por gradación</i>	59
<i>Tabla 16: Gradación de las muestras de ensayo</i>	59
<i>Tabla 17: Porcentaje de desgaste a abrasión</i>	60
<i>Tabla 18: Especificaciones de los agregados para el concreto</i>	61
<i>Tabla 19: Huso granulométrico del agregado fino</i>	61
<i>Tabla 20: Huso granulométrico del agregado grueso</i>	62
<i>Tabla 21: Límites permisibles para el agua de mezcla</i>	64
<i>Tabla 22: Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras</i>	64
<i>Tabla 23: Contenido de agua y estimación de contenido de aire aproximado</i>	65
<i>Tabla 24: Relación entre la compresión y la relación agua/cemento</i>	65
<i>Tabla 25: Peso del agregado grueso por unidad de volumen (b/b₀)</i>	66
<i>Tabla 26: Diseño de mezcla inicial</i>	67
<i>Tabla 27: Diseño de mezcla con ajustes de humedad</i>	68
<i>Tabla 28: Diseño de mezcla para cada porcentaje</i>	68
<i>Tabla 29: Ensayo de asentamiento</i>	69
<i>Tabla 30: Ensayo tiempo de fraguado</i>	70
<i>Tabla 31: Ensayo de resistencia a compresión</i>	71
<i>Tabla 32: Características del agregado fino</i>	75
<i>Tabla 33: Composición del agregado fino</i>	75
<i>Tabla 34: Características de los áridos para el diseño de mezcla</i>	77
<i>Tabla 35: Requisitos químicos del agua</i>	77
<i>Tabla 36: Diseño de mezcla</i>	79
<i>Tabla 37: Media, variación, desviación estándar para asentamiento</i>	79
<i>Tabla 38: Tiempo de fraguado y temperatura del concreto</i>	80
<i>Tabla 39: Ensayo tiempo de fraguado</i>	80
<i>Tabla 40: Media, variación, desviación estándar para fraguado inicial</i>	80
<i>Tabla 41: Media, variación, desviación estándar para fraguado final</i>	81
<i>Tabla 42: Ensayo de resistencia a compresión</i>	81
<i>Tabla 43: Media, variación, desviación estándar para compresión</i>	82
<i>Tabla 44: Media, variación, desviación estándar para absorción</i>	82
<i>Tabla 45: Media, variación, desviación estándar para porosidad</i>	82
<i>Tabla 46: Densidad en seco del concreto</i>	83
<i>Tabla 47: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco</i>	84
<i>Tabla 48: Análisis de costos para la recolección</i>	84
<i>Tabla 49: Análisis de costos para la calcinación</i>	85
<i>Tabla 50: Análisis de costos para molienda</i>	85
<i>Tabla 51: Análisis de costos para tamizado</i>	86
<i>Tabla 52: Análisis de costos para sinterización</i>	86
<i>Tabla 53: Costo por kilogramo de óxido de calcio</i>	87
<i>Tabla 54: Costo por m³ de concreto adicionado óxido de calcio y microsílíce</i>	87
<i>Tabla 55: Características del agregado fino</i>	88

<i>Tabla 56: Características del agregado grueso</i>	91
<i>Tabla 57: Características físicas del cemento</i>	93
<i>Tabla 58: Datos básicos de Sika ViscoCrete-3330</i>	94
<i>Tabla 59: Porcentaje de ganancia de compresión</i>	109
<i>Tabla 60: Ensayo granulométrico del agregado fino</i>	125
<i>Tabla 61: Ensayo granulométrico del agregado grueso</i>	126
<i>Tabla 62: Media, variación, desviación estándar para granulometría</i>	126
<i>Tabla 63: Media, variación, desviación estándar para granulometría</i>	127
<i>Tabla 64: Ensayo humedad de los agregados</i>	127
<i>Tabla 65: Media, variación, desviación estándar para humedad de los agregados</i>	128
<i>Tabla 66: Ensayo peso suelto y compactado de los agregados</i>	128
<i>Tabla 67: Media, variación, desviación estándar para peso suelto y compactado</i>	129
<i>Tabla 68: Ensayo peso específico del agregado fino</i>	129
<i>Tabla 69: Media, variación, desviación estándar para peso específico</i>	130
<i>Tabla 70: Ensayo peso específico del agregado grueso</i>	130
<i>Tabla 71: Media, variación, desviación estándar para peso específico</i>	131
<i>Tabla 72: Ensayo equivalente arena del agregado fino</i>	131
<i>Tabla 73: Ensayo de abrasión del agregado grueso</i>	132
<i>Tabla 74: Ensayo de asentamiento</i>	133
<i>Tabla 75: Media, variación, desviación estándar para ensayo de asentamiento</i>	133
<i>Tabla 76: Ensayo de tiempo de fraguado</i>	134
<i>Tabla 77: Media, variación, desviación estándar para tiempo de fraguado Inicial</i>	136
<i>Tabla 78: Media, variación, desviación estándar para tiempo de fraguado final</i>	136
<i>Tabla 79: Ensayo de resistencia a compresión</i>	141
<i>Tabla 80: Media, variación, desviación estándar para resistencia a compresión</i>	141
<i>Tabla 81: Ensayo de densidad</i>	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Diagrama esquemático de problema de investigación	20
Figura N° 2: Molde para medir asentamiento	47
Figura N° 3: Molde para medir tiempo de fraguado	47
Figura N° 4: Molde para ensayar a compresión	48
Figura N° 5: Proceso experimental	51
Figura N° 6: Ubicación del lugar de extracción de residuos bovinos	52
Figura N° 7: Proceso de obtención de óxido de calcio	63
Figura N° 8: Curva granulométrica del agregado fino	76
Figura N° 9: Curva granulométrica del agregado grueso	77
Figura N° 10: Análisis termogravimétrico	78
Figura N° 11: Análisis calorímetro diferencial de barrido	78
Figura N° 12: Curva granulométrica del agregado fino	89
Figura N° 13: Curva granulométrica del agregado grueso	91
Figura N° 14: Estructura macroscópica del hueso	95
Figura N° 15: Análisis termogravimétrico TGA	96
Figura N° 16: Análisis calorímetro diferencial de barrido	97
Figura N° 17: Análisis de difracción de rayos X	99
Figura N° 18: Diagrama ternario	100
Figura N° 19: Proporciones de diseño de mezcla para un 1m ³	101
Figura N° 20: Asentamiento de mezclas patrones	102
Figura N° 21: Asentamiento de mezclas adicionadas con óxido de calcio	103
Figura N° 22: Resistencia a la penetración de una pasta de cemento	104
Figura N° 23: Etapas de hidratación del cemento	105
Figura N° 24: Resistencia a la penetración de la muestra patrón sp	106
Figura N° 25: Fraguado inicial de mezclas adicionadas con óxido de calcio	107
Figura N° 26: Fraguado final de mezclas adicionadas con óxido de calcio	107
Figura N° 27: Resistencia a compresión de mezclas adicionadas con óxido de calcio	110
Figura N° 28: Densidad en seco	111
Figura N° 29: Conformación de la estructura porosa del concreto	112
Figura N° 30: Absorción y porosidad	113
Figura N° 31: Evaluación de costos de producción	114
Figura N° 32: Resistencia a la penetración de muestra patrón	137
Figura N° 33: Resistencia a la penetración de muestra patrón con súperplastificante	137
Figura N° 34: Resistencia a la penetración con súperplastificante y 1% de adición	138
Figura N° 35: Resistencia a la penetración con súperplastificante y 2% de adición	138
Figura N° 36: Resistencia a la penetración con súperplastificante y 3% de adición	139
Figura N° 37: Resistencia a la penetración con súperplastificante y 4% de adición	139
Figura N° 38: Resistencia a la penetración con súperplastificante y 5% de adición	140
Figura N° 39: Resistencia a la penetración con súperplastificante y 6% de adición	140
Figura N° 40: Muestra de hueso sin calcinar para ensayo TGA y DTA	143
Figura N° 41: Pre-calcinación de huesos	143
Figura N° 42: Trituración de huesos calcinados	143
Figura N° 43: Molienda de huesos en máquina los ángeles	143
Figura N° 44: Molienda de huesos en molino de bolas	144
Figura N° 45: Tamizado de huesos calcinados	144
Figura N° 46: Calcinación de huesos a 750°C	144
Figura N° 47: Obtención del óxido de calcio	144
Figura N° 48: Ensayo granulométrico del agregado fino	145
Figura N° 49: Contenido de humedad del agregado fino	145
Figura N° 50: Secado de las muestras en la estufa	145
Figura N° 51: Peso suelto y compactado del agregado grueso	145
Figura N° 52: Densidad y absorción del agregado fino	146
Figura N° 53: Medición de pH	146
Figura N° 54: Medición de salinidad, conductividad y sólidos suspendidos	146
Figura N° 55: Elaboración de mezcla de concreto	147

<i>Figura N° 56: Ensayo de trabajabilidad</i>	147
<i>Figura N° 57: Asentamiento de mezcla patrón con plastificante</i>	147
<i>Figura N° 58: Resistencia a la penetración del concreto</i>	147
<i>Figura N° 59: Curado de probetas</i>	148
<i>Figura N° 60: Probetas a 28 días</i>	148
<i>Figura N° 61: Peso saturado de la probeta</i>	148
<i>Figura N° 62: Secado al horno de las probetas</i>	148
<i>Figura N° 63: Peso seco de la probeta</i>	149
<i>Figura N° 64: Refrendado de las probetas</i>	149
<i>Figura N° 65: Ensayo de resistencia a compresión</i>	149
<i>Figura N° 66: Falla de las probetas</i>	149

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Módulo de finura</i>	53
<i>Ecuación 2: Porcentaje de humedad</i>	54
<i>Ecuación 3: Peso unitario suelto</i>	55
<i>Ecuación 4: Peso unitario suelto compactado</i>	55
<i>Ecuación 5: Densidad seca</i>	57
<i>Ecuación 6: Densidad saturada superficialmente seca</i>	57
<i>Ecuación 7: Densidad aparente</i>	57
<i>Ecuación 8: Porcentaje de absorción</i>	57
<i>Ecuación 9: Densidad seca</i>	58
<i>Ecuación 10: Densidad saturada superficialmente seca</i>	58
<i>Ecuación 11: Densidad aparente</i>	58
<i>Ecuación 12: Porcentaje de absorción</i>	58
<i>Ecuación 13: Porcentaje de desgaste</i>	60
<i>Ecuación 15: Resistencia a compresión</i>	71
<i>Ecuación 16: Densidad en seco</i>	72
<i>Ecuación 17: Porcentaje de absorción</i>	72
<i>Ecuación 18: Porcentaje de porosidad</i>	72
<i>Ecuación 19: Media aritmética</i>	72
<i>Ecuación 20: Varianza</i>	73
<i>Ecuación 21: Desviación estándar</i>	73
<i>Ecuación 22: Coeficiente de variación</i>	74

RESUMEN

La industria de la construcción es, sin duda, la protagonista en el desarrollo de las sociedades, sin embargo, a pesar de su importancia para el crecimiento, la práctica constructiva es, además, uno de los principales actores en el proceso de modificación del planeta y de contaminación, pues es un gran consumidor de recursos y generador de desechos. En consecuencia, en la actualidad, muchos países, experimentan nuevas prácticas de ahorro de recursos naturales mediante la utilización de materiales reciclables. La utilización de residuos es una alternativa que podemos aprovechar para mejorar las propiedades del concreto; con esto estamos contribuyendo con el medio ambiente y el ahorro de costos. Por ello la presente investigación plantea la utilización de óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado bovino como una alternativa de adición al concreto y así mejorar sus propiedades en estado fresco (trabajabilidad y tiempo de fraguado) y endurecido (resistencia a compresión, densidad, porosidad y absorción).

Para el desarrollo se utilizó agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2", agregado fino con módulo de finura de 2.5, cemento Pacasmayo Tipo I y se elaboró un diseño de mezcla de concreto de f_c 280 kg/cm², con relación agua/cemento de 0.52, con súperplastificante Sika ViscoCrete-3330 en dosificación de 0.2% con respecto al peso del cemento, siguiendo los parámetros del comité ACI 211. Se adicionó a la mezcla de concreto óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado bovino en porcentajes de 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% con respecto a la mezcla de concreto, para lo cual, primero tuvo que pasar un proceso de pre-calcinación a una temperatura de 600°C, luego un proceso de molienda y tamizado hasta obtener un tamaño de 75 μ m y finalmente una calcinación en un horno a temperatura de 750°C por 4 horas.

En la caracterización en estado fresco se realizó ensayo de trabajabilidad y el tiempo de fraguado teniendo en cuenta las normativas ASTM C143 y ASTM C403 respectivamente. En estado endurecido, se realizó el ensayo de compresión a probetas cilíndricas de 0.10m de diámetro y 0.20 m de altura a 28 días de curado bajo norma ASTM C31 y ASTM C39; y se determinó la densidad, absorción y porosidad bajo la norma ASTM C642.

Se determinó que el porcentaje óptimo de adición de óxido de calcio es al 4% para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco-endurecido, obteniendo una mezcla plástica, trabajable, con una resistencia máxima de 353 kg/cm² a 28 días. Asimismo, presentó la mayor densidad, con una mínima porosidad de 4.69% y una absorción de 1.54%. Finalmente se realizó un análisis de costos comparativo con respecto a un concreto adicionado con microsílíce Rheomac SF100.

ABSTRACT

The construction industry is undoubtedly the protagonist in the development of societies, but despite its importance for growth, the constructive practice is also one of the main actors in the process of changing the planet and of contamination, because it is a great consumer of resources and generator of waste. Consequently, today, many countries, experience new practices of saving natural resources through the use of recyclable materials. The use of waste is an alternative that we can take advantage of to improve the properties of the concrete; with this we are contributing to the environment and saving costs. Therefore, the present investigation proposes the use of calcium oxide extracted from cattle residues as an alternative to add to the concrete and thus improve its properties in fresh (workability and setting time) and hardened (compression resistance, density, porosity and absorption).

For the development, a coarse aggregate with a nominal maximum size of 1/2 "was used, a fine aggregate with a fineness modulus of 2.5, Pacasmayo Cement Type I and a concrete mix design of $f'c$ 280 kg / cm² was developed, with 0.52 water / cement, with Sika ViscoCrete-3330 superplasticizer in 0.2% dosage with respect to the weight of the cement, following the parameters of the ACI 211 committee. Calcium oxide extracted from cattle residues was added to the concrete mix in percentages of 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% and 6% with respect to the concrete mixture, for which, it first had to pass a pre-calcination process at a temperature of 600°C, then a grinding and sieving process until obtaining a size of 75 μ m and finally a calcination in a furnace at a temperature of 750 °C for 4 hours.

In the fresh characterization, the workability test and the setting time were carried out taking into account the regulations ASTM C143 and ASTM C403 respectively. In the hardened state, the compression test was performed on cylindrical test pieces of 0.10m in diameter and 0.20 m in height at 28 days of curing under ASTM C31 and ASTM C39; and density, absorption and porosity were determined under the ASTM C642 standard

It was determined that the optimum percentage of addition of calcium oxide is 4% to improve the properties of the concrete in a fresh-hardened state, obtaining a plastic mixture, workable, with a maximum resistance of 353 kg/cm² to 28 days. It also presented the higher density, with a minimum porosity of 4.69% and an absorption of 1.54%. Finally, a comparative cost analysis was performed with respect to a concrete added with Rheomac SF100.

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

1.1. Realidad problemática

La construcción es considerada a nivel mundial dentro de las actividades económicas más demandantes de mano de obra y ejerce un efecto multiplicador en la economía, ya que es uno de los sectores productivos que más aporta al crecimiento de los países y regiones.

El informe "Construcción Global 2020" estima que para el 2020 la industria de la construcción represente el 13,2% del PBI mundial, del cual China, India y EE.UU generen el 54%. En cuanto a Asia y otros países emergentes el desarrollo de la construcción se verá influenciado por el aumento de la población, la urbanización rápida y el fuerte crecimiento económico, llegando a generar el 16,5%. (Reporte Inmobiliario, 2017)

En país de Latinoamérica, el sector construcción continúa creciendo, destacando países como Colombia con un crecimiento de +9.9%, Panamá con un 5,6% y República Dominicana con un 5.3% (BBC Mundo, 2017)

Sin duda, la actividad de la Construcción es uno de los sectores productivos que más aporta al crecimiento de las economías de los países.

En los últimos años las empresas del sector de construcción en el Perú, han alcanzado un mayor auge al reportar un crecimiento este junio de 3.49%, tasa que incrementaría según estimaciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

La expansión del Sector Construcción y la industria del cemento van de la mano. Es por ello que el incremento positivo del sector construcción se debe al aumento del consumo interno de cemento en 3.45% y al avance físico de obras en 3.73%, así lo señala Aníbal Sánchez, jefe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017).

En el año 2016, el INEI mediante el indicador del Valor Agregado Bruto sector construcción posicionó al departamento de La Libertad en el sexto lugar en crecimiento con un 4.4%. Esta actividad económica para La Libertad representó el 6.3% de su Producto Bruto Interno y ocupó el sexto lugar dentro de las actividades con mayor aporte, es por este motivo que realizo mi investigación en el sector construcción.

Siendo así, esta actividad económica demanda un buen control de calidad en todas sus etapas, tanto de diseño como construcción, lo que implica el conocimiento de las propiedades y del comportamiento de los materiales involucrados (Sánchez Malagón, 2006). Dentro de los materiales involucrados se encuentra el cemento, cuyo consumo interno es el 75% del sector construcción y que en la actualidad se encuentra en constante crecimiento según el Instituto Nacional de Estadística e Informática, Empresas Cementeras y la Asociación de Productores de Cemento. Es a partir del consumo del cemento, componente principal del concreto, podemos decir que el concreto se ha convertido en el material de construcción más ampliamente utilizado, por su extraordinaria versatilidad para trabajar, función estructural y economía (Amaris Martínez y Rondon Panqueva, 2009).

De acuerdo a su aplicación los cementos pueden ser tradicionales o adicionados. Los cementos adicionados están compuestos por una mezcla de clínker, yeso y adiciones minerales. Las adiciones minerales utilizadas varían entre puzolanas, fillers y escorias de alto horno, que añaden ciertas propiedades de valor agregado al cemento, otorgándoles características especiales (Cementos Pacasmayo, 2017). A pesar de todos sus beneficios, estos cementos resultan tener un costo más alto, por ello en el mundo de la construcción son más usados los cementos tradicionales. Razón por la cuál es necesario buscar adiciones que mejoren las propiedades del cemento pero que su costo no permita el incremento en la elaboración del concreto.

El concreto es un material resistente a las solicitaciones de compresión, tracción y flexión. Existen varias alternativas de acuerdo a sus las aplicaciones del concreto, pueden ser, autoconsolidante, relleno de fluido, proyectado, ligero, de alta resistencia, compensador de la contracción, reforzado con fibra, pesado, compactado a rodillo, de altas prestaciones y concreto con polímeros. (Mamlouk y Zaniewski, 2009). Cada uno de estos tipos mejora alguna propiedad del concreto partiendo como referencia el concreto convencional. El concreto convencional es empleando en estructuras tales como edificios, puentes, fábricas, pavimentos y campos deportivos (Fernández Cánovas, 2011).

Las estructuras de concreto son definidas como estructuras muy duraderas y que requieren poco mantenimiento; pero del mismo modo que los seres vivos, estas experimente fases en el tiempo, que van desde su planeación hasta su colapso; en donde padecen fenómenos de envejecimiento y deterioro a causa de acciones físicas, mecánicas, químicas o biológicas (Sánchez Guzmán, 2003).

Es por ello que se han intensificado investigaciones relacionadas con el mejoramiento de las propiedades del concreto en estado fresco como trabajabilidad, contenido de

aire, permeabilidad) y endurecido (resistencia a compresión, densidad, porosidad y retracción) que permitan obtener concretos de altas resistencias, buena calidad y responder a ciertas emergencias durante su operación. Para esto, se emplean aditivos como plastificantes, retardantes de fragua, acelerantes, agentes aireantes entre otros. Uno de los aditivos para el concreto es la microsílíce, que lo podemos obtener de productos artificiales como Sika Fume, el cual asegura que acondicionado a la mezcla de concreto mejora sus características como aumento de la resistencia mecánica, impermeabilidad, resistencia química, adherencia al acero, durabilidad frente a agentes agresivos, resistencia a abrasión, cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca. Por la alta impermeabilidad, durabilidad y resistencia que otorga al concreto, puede ser utilizada la mezcla bajo agua en puertos, puentes, presas, reparaciones, rellenos, entre otros.

Empresas como Sika, Chema, Z aditivos y entre otras ofertan una variedad de aditivos químicos para mejorar las propiedades del concreto, y así conseguir concretos dóciles, resistentes, durables y de calidad; sin embargo su uso tienden a elevar el costo de producción del concreto.

La industria de la construcción es, sin duda, protagonista en el desarrollo de las sociedades, ya que es responsable directa de la creación de infraestructura de vivienda, transporte, instalaciones sanitarias, entre otros proyectos, en las que se gesta la cultura y el crecimiento económico de la humanidad. Sin embargo, a pesar de su importancia para el crecimiento, la práctica constructiva es, además, uno de los principales actores en el proceso de modificación del planeta y de contaminación, pues es un gran consumidor de recursos y generador de desechos (Acevedo Agudelo, Vásquez Hernández, Ramírez Cardona, 2012).

El poner en marcha prácticas propias de la construcción sostenible puede generar una reducción del 35% en las emisiones de CO₂, un ahorro en el consumo de agua y energía del 30 al 50%, y una disminución de los costos por disposición de residuos sólidos de hasta el 90% (WorldGBC, 2008). Desde el punto de vista de la rentabilidad, los beneficios de la aplicación de prácticas sostenibles en la construcción acarrearán una reducción de hasta el 9% en los costos de operación, un incremento de más del 6% del retorno de la inversión y del valor del inmueble, y un aumento de alrededor del 3% en el precio de renta y en la tasa de ocupación, debido a la preferencia del mercado actual por productos amigables con el medio ambiente (WorldGBC, 2008).

En consecuencia, en la actualidad, muchos países que van desde los más industrializados a otros en vías de desarrollo, experimenten nuevas prácticas de ahorro de recursos naturales mediante la utilización de materiales reciclables.

Están empleando residuos y subproductos industriales como materia prima alternativa en los procesos de fabricación, con la finalidad de obtener materiales más amigables con el ambiente, ayudando a la vez a la valorización y eliminación de los desechos (Zaragoza, 2008). Asimismo, se ha retomado la implementación de materiales antiguos y del entorno, como la tierra y las fibras naturales. Desde el punto de vista ambiental, el reciclaje de escombros es bastante atractivo porque aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y evita la degradación de recursos naturales no renovables; pero, desde el punto de vista netamente económico, el reciclado resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación al costo y a la calidad (Bedoya Montoya, 2003).

Como sociedad siempre hemos producido residuos, volumen que ha crecido en estos últimos diez años de forma desorbitada y acumulativa. Un peruano produce más de medio kilo al día de basura (Ministerio del Ambiente, 2017).

Estamos inmersos en la cultura del usar y tirar. Según los reportes, son 20 mil toneladas de basura que se genera en el Perú día tras día. Este dato no es para menos, pues solo existen 22 rellenos sanitarios entre los 1851 distritos del país, eso quiere decir que más del 95% de la basura termina en botaderos ilegales que han podido contabilizar, o en las quebradas y los ríos, que al final desembocan en el mar. De estos el 50% de no son gestionados adecuadamente, generando un impacto serio a nuestro medio ambiente (GrupoRPP, 2016).

Según el Ministerio del Ambiente (Minam), se necesita implementar al menos 270 rellenos sanitarios en las ciudades grandes y medianas del país. La situación es más crítica a nivel regional. En 14 de las 25 regiones no hay rellenos sanitarios de ningún tipo, y una de ellas es la región de La Libertad. (El comercio, 2016)

En la ciudad de Trujillo, existe el botadero El Milagro, este es el más grande de todo el país y recibe al día un poco más de 720 toneladas de basura de todo tipo y está considerado dentro de los 20 más críticos de Latinoamérica, según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (GrupoRPP, 2016)

De lo anterior podemos decir que el Perú es un país con grandes problemas para la gestión de residuos sólidos al no contar con suficientes rellenos sanitarios.

Para contrarrestar la situación, se busca promover la práctica de las tres erres, reducir, reutilizar y reciclar; práctica que ayudaría a que más del 50% de estos residuos orgánicos sean aprovechados para diversos fines. Las tres erres (3R) es una regla para cuidar el medio ambiente, específicamente para reducir el impacto humano sobre el medio ambiente, mediante un uso más eficiente de nuestros recursos.

En el 2016 el Poder Ejecutivo modificó el marco legal de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos sobre la gestión integral de los residuos sólidos mediante el Decreto Legislativo N° 1278 con la finalidad de actualizarla y asegurar una eficiente gestión de los residuos sólidos. El Decreto Legislativo N° 1278 tiene como primera finalidad asegurar la gestión y manejo adecuado de los residuos sólidos, basado en tres pilares: reducir residuos como primera prioridad, la eficiencia en el uso de los materiales y los residuos vistos como recursos (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2016). En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente. (El Peruano, 2016).

Uno de los principios del decreto es la valorización de residuos sólidos generados en las actividades productivas, que busca cambiar el paradigma con respecto a los residuos sólidos, para considerarlos como insumos de valor agregado en otras industrias y ya no como amenazas ya que constituyen un potencial recurso económico.

Ante estos cambios, existe la necesidad de crear nuevos materiales que sean totalmente ecológicos, económicos y saludables para la construcción (Uriel Hernández, 2011). La utilización de residuos es una alternativa ya que en vez de estar comprando insumos para producir, podemos aprovecharlos para mejorar las propiedades del concreto; con esto estamos contribuyendo con el medio ambiente y el ahorro de costos.

Una de las últimas tecnologías desarrolladas con muchas aplicaciones en este campo es la utilización de concretos adicionados con cenizas, como las cenizas volantes, escorias de alto horno o de fundición, las cenizas de cascara de arroz, cenizas de bagazo de caña de azúcar, entre otros. Las adiciones al concreto permiten incrementar sus esfuerzos, resistencias, rigidez, reducir la permeabilidad entre otras propiedades, como en este caso la adición de las cenizas al concreto mejora las propiedades de trabajabilidad, durabilidad, densidad, resistencia a compresión y tensión y reduce el costo (Contreras Cueva y Peña Villalobos, 2017).

Sabiendo que el componente principal del cemento es el óxido de calcio, compuesto que se obtiene de la calcinación del carbonato de calcio y que se encuentra en minerales como la calcita, de rocas como la caliza y presente en los organismos vivos, como el talo de algunas algas, las esponjas de la clase calcárea, conchas de moluscos, esqueletos de corales, las cáscaras de huevo y en los esqueletos de animales; se propone la utilización de huesos de ganado bovino como fuente de extracción de óxido

de calcio, que no solo permitirá obtener concretos con altas resistencias sino también reducir costos de fabricación y disminuir las emisiones contaminantes.

Esta propuesta se basa en el consumo de carne bovina a nivel nacional, producto que conforma la canasta nacional mínima alimentaria, y que en el país se ha ido incrementando, llegando a ser de 6.26 kg. por habitante al mes (Ministerio de Agricultura y Riego, 2014).

En Trujillo el abastecimiento de ganado bovino se realiza por medio de los camales, siendo tres los existentes en esta ciudad, los que a la semana ejecutan alrededor de 560 ganados para ser consumidos. Considerando que cada bovino pesa cerca de 500 kg, del cual el 15% corresponde al peso de los huesos; entonces la cantidad de huesos que se puede obtener es de cerca de 42,000 kg a la semana.

Como vemos la generación de huesos de origen bovino es de gran cantidad, es ahí, que surge la iniciativa para dar uso a estos residuos como materia prima en otras industrias.

Por ello este proyecto plantea la utilización de óxido de calcio extraído a partir de huesos de ganado bovino como una alternativa de adición al concreto y así mejorar sus propiedades en estado fresco y endurecido.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales, Trujillo?

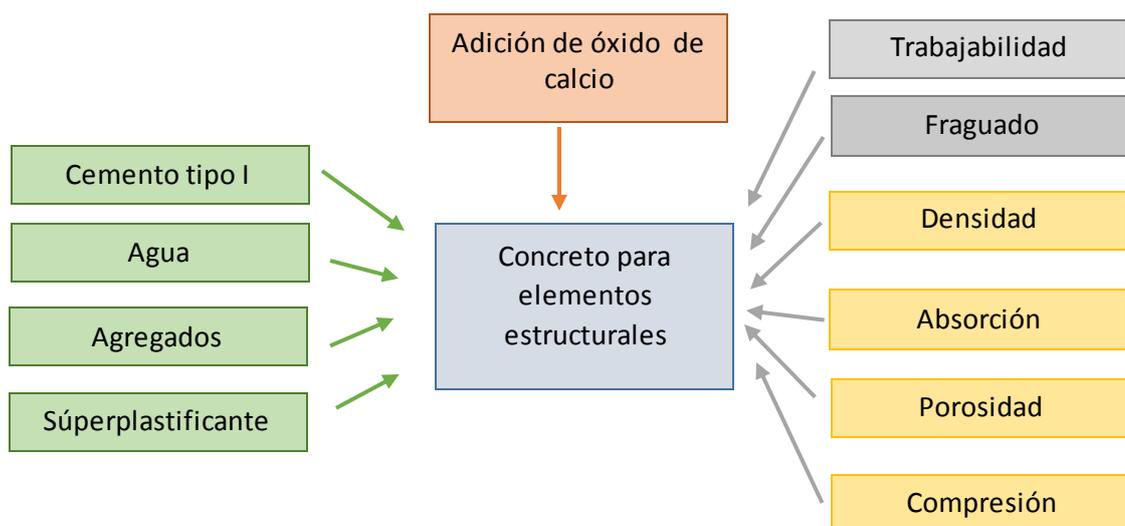


Figura N° 1: Diagrama esquemático de problema de investigación. (Propia)

1.3. Justificación

En el Perú el avance de la tecnología parece no tener límites, programas como Innóvate Perú, en sus diez años de existencia, ha brindado financiamiento al desarrollo de casi 2,500 proyectos de innovación, emprendimiento, investigación y capacitaciones (Gestión, 2017).

Carolina Moreni, Coordinadora del Centro de Innovación, Ciencia y Tecnología de la Cámara de Comercio de Lima (CCL) afirma que el Perú es muy fuerte en generación de recursos naturales. Si aplicamos tecnología y conocimiento, puede haber allí un impacto muy positivo.

Actualmente con el desarrollo de la tecnología, se han hecho muchas investigaciones a partir del concreto, buscando utilizar adiciones que permitan obtener concretos mejorados.

Empresas como Sika, Chema, Z aditivos y entre otras ofertan una variedad de aditivos químicos como acelerantes, adiciones, impermeabilizantes, curadores, incorporadores de aire, retardantes, plastificantes y fibras para mejorar las propiedades del concreto, y así conseguir concretos dóciles, resistentes, durables y de calidad; sin embargo, por el elevado costo que tienen son muy pocas veces usados en obra.

El reciclado resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación al costo y a la calidad (Bedoya Montoya, 2003). Además, existe la necesidad de crear nuevos materiales que sean totalmente ecológicos, económicos y saludables para la construcción (Uriel Hernández, 2011). Ante esto, una alternativa es la utilización de adiciones ecológicas, que no solo permita mejorar las propiedades del concreto, sino que también genere la oportunidad de dar uso a residuos sólidos como adición en esta industria, con ello, el costo de adquisición de un aditivo será menor y disminuirá el impacto ambiental.

Durante la fabricación del cemento, primero se debe elaborar el clínker, el cual utiliza como materia prima al menos 70% de caliza (Hernán Acevedo y Roció Guerra, 2005). El óxido de calcio, derivado de la caliza, es el principal componente del esqueleto de todos los organismos vivos. Es por ello que se propone la utilización de cenizas de residuos de ganado bovino como fuente de extracción de óxido de calcio, que no solo permitirá obtener concretos con altas resistencias sino también reducir costos de fabricación y disminuir las emisiones contaminantes.

Actualmente la microsílíce es industrializada y vendida por ciertas empresas. Sika Fume es un aditivo en polvo compuesto por microsílíce proveniente de la incineración

de placas de computadoras, que en dosificación hasta el 10 % del peso del cemento mejora las características de la mezcla de concreto como aumento de la resistencia mecánica, impermeabilidad, resistencia química, adherencia al acero, durabilidad frente a agentes agresivos, resistencia a abrasión, cohesión y disminuye la exudación de la mezcla fresca (Sika, 2017).

Los residuos de ganado bovino (cenizas de hueso calcinado) son un tipo de adición ecológica, con gran porcentaje de calcio en su composición química y que por sus características pueden ser comparados como un microsíllice, ceniza volante o puzolana.

Estas cenizas al ser de origen calcáreo no solo tienen propiedades puzolánicas sino también propiedades hidráulicas, que adicionadas al cemento, son capaces de combinarse durante la hidratación de los componentes activos del cemento portland para dar compuestos que contribuyan al incremento de las resistencias mecánicas y durabilidad del concreto (Fernández Cánovas, 2007). Al mismo tiempo mejora la docilidad y la cohesión, reduciendo la tendencia a segregación y a exudación. Sabemos que el cemento está formado principalmente por CaO ($\geq 75\%$ en masa), por lo que podemos afirmar que esta adición funcionará como un activador de endurecimiento del concreto, proporcionándole mayor resistencia y una masa más homogénea debido al tamaño de sus partículas que al ser igual al tamaño del cemento, logrará llenar los espacios vacíos y disminuirá la porosidad del concreto. Por ello con este trabajo intenta establecer nuevos parámetros para el diseño de un concreto estructural a partir de la adición de óxido de calcio extraído de residuos de ganado bovino.

La Unión Andina de Cementos establece que para elementos estructurales sean verticales u horizontales el concreto debe tener un $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ o $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, dependiendo donde sea colocado y su refuerzo de acero que presente. Por ello, para el desarrollo de la investigación se realizó un diseño de mezcla $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ siguiendo la metodología ACI-211, debido a su aplicación, la que será para elementos estructurales como placas, columnas y vigas.

Al buscar altas resistencias, el concreto debe tener una baja relación agua/cemento, pero a la vez proporcionar una buena trabajabilidad, por lo que se consideró una relación inicial a/c de 0.46.

El cemento a emplearse de acuerdo a su uso general podía ser cemento Tipo I o cemento Tipo ICo. Se decidió utilizar cemento portland Pacasmayo Tipo I porque presenta una resistencia alta a 28 días en comparación al cemento Tipo ICo que su resistencia es media.

El segundo motivo de la elección es porque no contiene alguna adición durante su proceso de fabricación, mientras que el Tipo ICo contiene adiciones procedentes de

materiales calizos, hasta un 30% de peso; y como esta investigación busca analizar el comportamiento de la adición de óxido de calcio extraído de un material ecológico al concreto es conveniente realizarlo sobre un cemento sin adiciones.

Como las cenizas de residuos de ganado bovino son comparados con la microsíllice, el tamaño máximo nominal del agregado grueso a utilizar fue de 1/2". Esta elección se basa en la afirmación de Fernández, M. (2011), quien recomienda utilizar un tamaño máximo nominal de árido comprendido entre 10mm y 12.5mm para concretos adicionados con microsíllice, puesto que los áridos más gruesos disminuyen la adherencia con la pasta de cemento. Asimismo, podemos decir que a menor tamaño del agregado grueso hay un mejor acomodamiento de las partículas que permite minimizar la cantidad de vacíos en el concreto y por ende aumentar la resistencia a compresión. La evaluación granulométrica del agregado grueso se hizo mediante el huso granulométrico 7 que establece la norma NTP 400.037. En cuanto al agregado fino, antes de ser considerado como materia prima, se evaluó que cumpla con el huso granulométrico establecido por la norma NTP 400.012, presente un módulo de finura comprendido entre 2.3 - 3.1 y un equivalente arena mayor a 75% como lo establece la norma NTP 339.146 ($\geq 75\%$ para $f'c \geq 210 \text{ kg/cm}^2$).

Al adicionar el óxido de calcio, por sus propiedades cementosas, disminuye la relación agua/material cementante, dando como resultado una mezcla seca y poco trabajable. Esta adición demanda mayor cantidad de agua de amasado, es por ello que se utilizó súperplastificante Sika ViscoCrete-3330 en dosificación de 0.2% del peso del cemento, para mantener constante la relación agua/cemento y poder realizar estudios con mayor cantidad de adición. Se decidió utilizar un súperplastificante porque al permite reducir hasta un 30% de la cantidad de agua y trabajar con mezclas secas de relación agua/material cementante de 0.30 a 0.45 mientras que un plastificante solo brinda mayor trabajabilidad y facilidad de compactación a concretos semi secos.

Las cenizas debido a su finura modifican la microestructura del concreto disminuyendo los espacios de vacíos, conformando así una mezcla más homogénea, pero a la vez de consistencia más seca, por lo que es necesario hacer un ensayo de trabajabilidad, puesto que si el concreto ya no es manejable, el uso de vibradores incrementará su costo. Asimismo, es importante conocer el tiempo de fraguado de la mezcla, ya que las cenizas en su composición química presentan CaO, compuesto con propiedades cementosas y que al ser adicionado acelera la hidratación de la pasta gel. Finalmente, considerando que los elementos estructurales principalmente están sometidos constantemente a esfuerzos de compresión, se evaluó la resistencia a compresión. Por estas razones en esta investigación se decidió estudiar las propiedades de trabajabilidad, tiempo de fraguado, resistencia a compresión, densidad, porosidad y absorción.

Esta propuesta de un material reciclable, de bajo costo, y con grandes ventajas tiene como utilidad tecnológica ser un aporte para fomentar, generar y transferir conocimiento científico y tecnológico a favor del desarrollo social y económico del país. El propósito del estudio realizado también servirá como referente de consulta para otras investigaciones en el área de ingeniería civil e ingeniería de materiales.

1.4. Limitaciones

Existe una gran gama de información bibliográfica acerca de adiciones de artificiales al concreto, sin embargo, si indagamos sobre adiciones naturales el contenido bibliográfico es deficiente, y mucho más escaso lo relacionado a la aplicación de cenizas extraídas a partir de la calcinación residuos de ganado bovino como aditivo natural para mejorar las propiedades de un concreto estructural. Por lo que se tomará como base bibliográfica materiales similares a este compuesto, dicho tal para este estudio será basado en puzolanas, microsilíce y cascarilla de arroz.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General.

Evaluar la influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales, Trujillo 2017

1.5.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Establecer el porcentaje óptimo de óxido de calcio extraído a partir de la calcinación de huesos de origen bovino para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco-endurecido.
- ✓ Determinar el comportamiento en estado fresco mediante los ensayos de trabajabilidad y tiempo de fraguado de un concreto adicionado con óxido de calcio extraído a partir de la calcinación de huesos de origen bovino en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%.
- ✓ Verificar el comportamiento en estado endurecido del concreto medido a través de la resistencia a compresión a 28 días, densidad, porosidad y absorción de un concreto adicionado con óxido de calcio extraído a partir de la calcinación de huesos de origen bovino en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%.

- ✓ Comparar las propiedades en estado fresco-endurecido de un concreto estructural con y sin adición de óxido de calcio extraído a partir de la calcinación de huesos de origen bovino en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%.
- ✓ Analizar económicamente el concreto adicionado con óxido de calcio extraído a partir de la calcinación de huesos de origen bovino con un concreto adicionado con microsílíce Rheomac SF100

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En el ámbito internacional encontramos los siguientes antecedentes:

Título: "EFECTO DE LA CENIZA VOLANTE EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO EN CONDICIONES DE CLIMA NATURAL"

Huaquisto Cáceres (2015) En su investigación afirma que la ceniza volante utilizado en el diseño de mezclas de concreto en porcentajes del 3% al 6% mejora la resistencia de este, siendo óptimo un valor medio en este rango; además a los 28 días para estos porcentajes de ceniza volante se alcanzan resistencias por encima del concreto normal. Asimismo, señala que la ceniza volante adicionada mayor al 6% hace perder la resistencia del mismo, en cambio para porcentajes menores al 3% la resistencia del concreto es aproximadamente la misma que para un concreto normal.

Título: "USO DE SÍLICE EN HORMIGONES DE ALTO DESEMPEÑO"

Allauca Pincay, Amen Loor y Lung Álvarez (2009) En su investigación señalan que, la microsíllice tiene un importante papel en las reacciones internas de la pasta de concreto. Al ser tan pequeñas, estas actúan como un filler, llenando los espacios vacíos en la pasta de concreto y proporcionando mayores propiedades adherentes, mayor compacidad, reducción de exudación de agua en la superficie y reducciones significativas de la permeabilidad, lo que por consecuencia incrementa la durabilidad. Para la investigación utilizaron agregado grueso de tamaño máximo nominal de 12.5mm (1/2"), agregado fino con módulo de finura de 2.97, cemento portland Tipo I y elaboraron un diseño de mezcla $f_c=350$ kg/cm² con relación agua/cemento 0.40 y 0.35. Determinaron que la incorporación de microsíllice aumenta la resistencia a compresión en un rango del 20% al 50%, usando contenidos de microsíllice que varían entre el 5% y 15% del peso del cemento. Otra de las propiedades que brinda esta adicción, es el incremento de la resistencia al ataque de sulfatos y cloruros, reduce la reacción álcali sílice; y todo esto se traduce en mayor durabilidad de las estructuras de concreto y en especial si se encuentran en climas extremos como hielo-deshielo.

Título: "USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO MATERIAL ALTERNATIVO EN LA CONSTRUCCIÓN"

Mafla (2009) En su trabajo señala que para la obtención de microsíllice primero se coloca en un crisol a una temperatura de 700°C y luego pasa por un proceso de molienda en un molino de bolas. En cuanto al diseño de mezcla empleo una relación

agua/cemento 0.485 y establece que los porcentajes óptimos de adición oscilaron entre el 5% y 10% del peso del cemento. Afirma que la cascarilla de arroz presenta buenas propiedades como material puzolánico, su alta pureza y su alta superficie específica proporciona un incremento de la densificación del concreto y por lo tanto un aumento de la resistencia a la compresión. Se debe tener en cuenta la relación agua/cemento, ya que una inadecuada ocasiona la formación de agregados esféricos muy duros en el interior del concreto y por lo tanto una abrupta disminución de la resistencia a la compresión.

En el ámbito nacional encontramos los siguientes antecedentes:

Título: “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO ADICIONANDO CON CENIZAS VOLANTES DE CARBÓN”

Contreras Cueva y Peña Villalobos (2017) En su investigación utilizaron agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4”, agregado fino con módulo de finura de 2.66, cemento portland Tipo I y elaboraron un diseño de mezcla $f_c=210$ kg/cm² con relación agua/cemento 0.56 adicionando las cenizas volantes en dosificaciones de 1.5%, 3%, 4.5% y 6% con respecto al peso del cemento. Llegaron a concluir que a mayor capacidad de soporte de carga, mayor resistencia a la compresión y a menor penetración de agua, es baja la permeabilidad. Asimismo obtuvieron una resistencia a compresión máxima de 241 kg/cm² con la dosificación 6% a 28 días, siendo esta la más alta; es decir se aumenta una resistencia a compresión a mayor cantidad de adición.

Título: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE MICRO SÍLICE A PARTIR DE LA CENIZA DE LA CASCARILLA DE ARROZ SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ASENTAMIENTO, ABSORCIÓN Y PESO UNITARIO DE UN CONCRETO MEJORADO”

Huarc Palacios (2017) En su investigación utilizó agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4”, agregado fino con módulo de finura de 2.3, cemento Pacasmayo Tipo I y elaboró un diseño de mezcla de concreto de 280 kg/cm², con relación agua/cemento de 0.54, con plastificante EUCO 37 al 1% con respecto al peso del cemento, siguiendo los parámetros del comité ACI 211. Utiliza dosificaciones del 1% al 10% de cenizas de cascarilla de arroz con respecto al peso del cemento, para lo cual, primero tuvo que pasar un proceso de calcinación en un horno a gas a temperatura entre los 400° y 600° y una molienda para obtener las cenizas de tamaño micro (pasado la malla N° 325). Obtuvo como máxima resistencia a compresión 376

kg/cm² al 6% de adición con una ganancia del 27% con respecto al f_c de diseño, a la misma una mezcla plástica, trabajable y de baja absorción.

Título: “LA PUZOLANIDAD Y REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE DE MORTEROS ADICIONADOS CON ÓXIDO DE CALCIO OBTENIDO DE CONCHAS DE ABANICO”
Alfaro Caycho (2014) En su estudio busca demostrar que la adición de carbonato de calcio mejorará las propiedades mecánicas y químicas del mortero. Para la investigación utilizó cemento Pacasmayo Extraforte ICo y elaboró un diseño de mezcla f_c=210 kg/cm² con relación agua/cemento 0.484 reemplazo el cemento en porcentajes del 10%, 20% y 30% de óxido de calcio; obteniendo como resultados que la resistencia a compresión se incrementa cuando se reemplaza el 10%, llegando a 225.84 kg/cm² en 28 días de curado. Para la obtención del carbonato de calcio de las conchas de abanico primero se calcinaron durante una hora a una temperatura de 800° C, posteriormente fueron molidas hasta llegar al tamaño menores de 0.045mm, es decir pasando la malla N°325.

Título: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE REEMPLAZO DE CENIZA VOLANTE SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, ACTIVIDAD PUZOLÁNICA Y REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE EN LA FABRICACIÓN DE MORTEROS TIPO I”
Alcántara Ávila y Maceda Álvarez (2014) En su investigación señalan que se logra alcanzar una máxima resistencia a compresión de 282.70 kg/cm² cuando se incorpora el 20 % de ceniza volante en la estructura del mortero. Este ensayo estuvo bajo la normativa ASTM C109 y las probetas realizadas fueron con porcentajes del 10%, 20% y 30% de ceniza volante en reemplazo del cemento. Las cenizas fueron extraídas de las calderas de Trupal y pasaron por un proceso de molienda hasta obtener una granulometría pasante malla 325. Para la investigación utilizaron cemento Pacasmayo Tipo I y elaboraron un diseño de mezcla f_c=210 kg/cm² con relación agua/cemento 0.486. Finalmente comprobaron estadísticamente que el porcentaje de ceniza volante influye significativamente sobre las propiedades de resistencia a compresión, mejorando la durabilidad del concreto convencional.

Título: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE DIATOMITA SOBRE LA TRABAJABILIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTABLE”

Cueva Gadea y Eustaquio Lázaro (2012) En su trabajo realizan su investigación con adición de diatomita extraída a partir de lodos filtrantes de una planta cervecera en porcentajes de 4%, 8% y 12% sobre el peso del cemento. Para la investigación

utilizaron agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2”, agregado fino con módulo de finura de 3.10, cemento Pacasmayo ICo mejorado y elaboraron un diseño de mezcla $f_c=210$ kg/cm² con relación agua/cemento 0.62 y un súperplastificante Chemaplast Ret con un punto de saturación de 2%. Obtuvieron una resistencia máxima a compresión de 265.8 kg/cm². A partir de ello concluye que el porcentaje óptimo es de 4%.

Título: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE MICROSÍLICE SOBRE LA TRABAJABILIDAD EN ESTADO FRESCO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESTADO ENDURECIDO DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE”

Gonzáles Acevedo y Rodríguez Vilca (2008) En su investigación utilizaron agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/8”, agregado fino con módulo de finura de 2.66, cemento Pacasmayo ICo, súperplastificante Glenium 3200 HES de alto rango y elaboraron un diseño de mezcla $f_c=280$ kg/cm² con relación agua/cemento 0.40 adicionando microsíllice Rheomac SF100 en porcentajes de 4%, 8%, 12% y 16% sobre el peso del cemento. Llegaron a obtener resistencias a compresión de 303.15 kg/cm² al 4%, 351.74 kg/cm² al 8%, 422.88 kg/cm² al 12% y 377.79 kg/cm² al 16%, siendo ensayadas a 28 días. Asimismo afirma que a mayor porcentaje de microsíllice aumenta la trabajabilidad, la adherencia y la resistencia a la compresión hasta alcanzar un máximo contenido, luego del cual, aumenta la segregación y exudación y por ende disminuye la resistencia a compresión.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto es un material artificial, el más ampliamente utilizado en la construcción civil. Está compuesto por cemento portland, áridos, agua, espacios rellenos de aire y en muchos casos aditivos (Mamlouk y Zaniewski; 2009).

El concreto es un material resistente a las solicitaciones de compresión, tracción y flexión (Fernández Cánovas; 2011).

La principal característica estructural del concreto es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.), por este motivo es habitual usarlo asociado al acero, recibiendo el nombre de concreto armado en algunos lugares; comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas solicitaciones (Pérez Guillén; 2016).

Ofrece resistencia que depende en gran medida de la calidad y proporción de los componentes de las mezclas y de las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de fabricación, compactación y de fraguado. A los efectos se requiere conocer (Absalón y Salas; 2008):

- Procedencia de los agregados grueso y fino.
- Origen y tipo de cemento.
- Procedencia y calidad del agua mezclado.
- Diseño de mezcla, indicando el asentamiento.
- Dosificación en peso y volumen de los materiales a mezclar, asegurar una resistencia promedio a la compresión.

Se emplea en estructuras tales como edificios, puentes, túneles, presas, fábricas, pavimentos y campos deportivos.

Existen varias alternativas que incrementan la flexibilidad y las aplicaciones del concreto. Entre ellas: concreto autoconsolidante, relleno de fluido, concreto proyectado, concreto ligero, concreto de alta resistencia, concreto compensador de la contracción, concreto reforzado con fibra, concreto pesado, concreto compactado a rodillo, concreto de altas prestaciones y concreto con polímeros (Mamlouk y Zaniewski, 2009).

2.2.2. Componentes del concreto

2.2.2.1. Agregados

Son materiales granulares inertes, de tamaño comprendido entre 0mm y 100mm, de naturaleza inorgánica, y de procedencia natural o artificial que contribuyen a la estabilidad de volumen, resistencia y economía del concreto. Aproximadamente el 80% del volumen del concreto, es ocupado por los áridos, los cuales ejercen influencia positiva en las resistencias mecánicas, retracción, fluencia, abrasión, incluso durabilidad; por lo cual deben ser adecuados para no afectar la calidad del concreto (Fernández Cánovas, 2011).

Los áridos pueden clasificarse según su origen en naturales y artificiales. Los naturales proceden de la desintegración natural o artificial de rocas y según la naturaleza de éstas reciben el nombre de silíceos, calizos, graníticos, basálticos, etc. Los artificiales son obtenidos mediante un proceso industrial a partir de materiales inorgánicos u orgánicos como las escorias siderúrgicas, siempre y cuando tengan las características requerida para un concreto.

Los agregados por su tamaño se dividen en dos grupos: agregado fino y agregado grueso. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pasan la malla N° 4 (4.75 mm) y quedan retenidas por la malla N° 200 (0.075 mm) y los agregados gruesos consisten en grava o agregado triturado y son aquellas partículas retenidas en la malla No. 4 (4.75 mm). El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

2.2.2.2. Cemento Portland

El cemento Portland es una cola instantánea (basta con añadir agua) que une las partículas de árido entre sí para formar el concreto de cemento portland.

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 334.009), el cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir:

$$\text{Cemento Portland} = \text{Clinker Portland} + \text{Yeso}$$

La finura de las partículas de cemento es una propiedad importante que hay que controlar cuidadosamente, puesto que la hidratación comienza en la superficie de las partículas de cemento, cuanto más finas sean estas, mayor será el área superficial y por tanto, tendrá como resultado un desarrollo más rápido de la resistencia y un calor inicial de hidratación mayor (Mamlouk y Zaniewski, 2009).

El tamaño máximo de las partículas de cemento es de 0.09 mm (0.0035 pulg.); entre el 85% y 95% de las partículas son menores de 0.045 mm (0.0018 pulg.) y el diámetro medio es de 0.01mm (0.0004 pulg.).

Esta medición se puede realizar determinando el porcentaje de partículas que pasan el tamiz de 0.045 mm (N°325) (ASTM C430).

Composición química del cemento

El cemento está conformado por el óxido de calcio (CaO), óxido de sílice (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), siendo el total de éstos del 95% al 97%. En pequeñas cantidades también se presentan otros óxidos: la magnesia, el anhídrido sulfúrico, los álcalis y otros de menor importancia (Mayta, 2014).

Tabla 1: Componentes del Cemento. (Mayta, 2014)

Oxido Componente	Porcentaje Típico (%)	Abreviatura
CaO	58 a 67	C
SiO ₂	16 a 26	S
Al ₂ O ₃	4 a 8	A
Fe ₂ O ₃	2 a 5	F
SO ₃	0.1 a 2.5	
MgO	1 a 5	
K ₂ O y Na ₂ O	0 a 1	
Mn ₂ O ₃	0 a 3	
TiO ₂	0 a 0.5	
P ₂ O ₅	0 a 1.5	
Pérdida por calcinación	0.5 a 3	

Estos

materiales interactúan en el horno principal formando compuestos químicos complejos, reestructurando su composición molecular y produciendo cuatro compuestos principales (Tabla 2). Estos compuestos conforman el 90% al 95% de la masa del cemento.

Tabla 2: Compuestos principales del Cemento Portland (Zuñiga O., 2013)

Designación	Fórmula	Porcentaje (%)	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	40 a 50	C ₃ S
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	20 a 30	C ₂ S
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	10 a 15	C ₃ A
Ferro aluminato tricálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	5 a 10	C ₄ AF

Tipos de cemento

Tipos especificados en norma NTP 334.009, y ASTM C-150-99 (Instituto de la Construcción y Gerencia, 2015).

- **Tipo I:** Para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.
- **Tipo II:** Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- **Tipo III:** Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- **Tipo IV:** Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos

La norma establecida por la Norma Técnica Peruana (NTP 334.090), especifica las características de los cementos adicionados, los que contienen además de los compuestos mencionados, escorias, puzolanas y materiales calizos que modifican el comportamiento. Entre los tipos de cementos y el porcentaje añadido, tenemos (Instituto de la Construcción y Gerencia, 2015):

- **Tipo IS:** Contenido de escoria entre 25% y 70%.
- **Tipo ISM:** Contenido de escoria menor a 25%
- **Tipo IP:** Contenido de puzolana entre 15% y 40%.
- **Tipo IPM:** Contenido de escoria menor a 15%
- **Tipo I (CO):** Cemento adicionado obtenido por la pulverización conjunta de Clinker Portland y materiales calizos, hasta un 30% de peso.

2.2.2.3. El Agua

Sustancia líquida transparente, compuesto de dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, (H_2O) en estado puro es inodora e insípida, no siempre se encuentra en estado puro por lo que puede contener en disolución gases y sales, en suspensión, polvos y a veces microbios (Absalón y Salas, 2010).

El agua en la construcción tiene dos aplicaciones importantes:

- **Agua de mezclado:** Es agregada a la mezcla de concreto junto a los demás componentes con la finalidad de la hidratación de los compuestos activos del cemento, generar una mezcla trabajable y crear espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento. (Fernández Cánovas, 2011).
- **Agua de curado:** Las aguas adecuadas para el amasado lo son también para el curado.

Para que un agua sea apta para un amasado de un concreto debe estar limpia y encontrarse libre de impurezas por encima de determinados límites a fin de que no se produzcan alteraciones en la hidratación del cemento, retrasos en sus fraguado y endurecimiento, reducciones en sus resistencias, ni peligros en su durabilidad.

2.2.2.4. Aditivos

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del mortero (Guevara, 2011).

Los aditivos son ingredientes distintos del propio cemento, agua y áridos, que pueden añadirse al concreto para proporcionar una cualidad específica a la mezcla fresca o al concreto endurecido (Mamlouk y Zaniewski, 2009). Hewlett (1978) clasifica a los aditivos según sus características físicas funcionales y químicas en agentes aireantes, reductores de agua, retardadores, aditivos de control de hidratación, acelerantes, aditivos cementosos suplementarios y aditivos especializados.

Según la ASTM C494 clasifica a los aditivos de la siguiente manera.

- **TIPO A:** Reductor de agua
- **TIPO B:** Retardador de fraguado
- **TIPO C:** Acelerador de fraguado
- **TIPO D:** Reductor de agua y retardador
- **TIPO E:** Reductor de agua y acelerador
- **TIPO F:** Reductor de agua de alto efecto
- **TIPO G:** Reductor de agua de alto efecto y retardador

Para esta investigación se desea obtener concretos de alta resistencia por lo que solo nos enfocaremos en los aditivos reductores de agua y aditivos cementosos suplementarios.

2.2.2.4.1. Aditivos Reductores de Agua

Son aditivos que incrementan la movilidad de las partículas de cemento en la mezcla fresca, permitiendo conseguir una igual facilidad de trabajo del concreto con un menor contenido de agua (Mamlouk y Zaniewski, 2009).

- Aditivo Súperplastificante

Son aditivos que incrementan la movilidad de las partículas de cemento en la mezcla fresca, permitiendo conseguir una igual facilidad de trabajo del concreto con un menor contenido de agua (Mamlouk y Zaniewski, 2009).

Los plastificantes hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación con un contenido de hasta 10% menor de agua, generando aumento en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto.

Los aditivos súperplastificantes pertenecen a una nueva generación de aditivos plastificadores, pueden reducir los

requisitos de agua en el concreto en el orden del 15% al 30% sin afectar la trabajabilidad. El concreto resultante presentará mayor resistencia y menor permeabilidad. Son conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango, las cuales tienen por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla de la mezcla (Tello, 2012).

Estos aditivos están normados según las Normas NTP 339.086 ó 339.087 o de las Normas ASTM C 494 o C 1017.

2.2.2.4.2. Adiciones Cementosas Suplementarias

Para obtener concretos de altas resistencias, las adiciones pueden ser humo de sílice, nanosílice, ceniza volante, puzolanas naturales y escorias de alto horno molida (Fernández Cánovas, 2011).

- Puzolanas Naturales

Es un material silíceo y aluminoso que, por sí mismo no posee ningún valor cementoso, o muy poco, pero si se suministra en partículas muy finas y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas normales para formar compuestos que presentan propiedades cementosas (ASTM C595) (Mamlouk y Zaniewski, 2009).

Las puzolanas presentes en la naturaleza, como las cenizas volcánicas finas, combinadas con cal calcinada ya se usaban para la construcción hace 2000 años y hoy en día continúan usándose. El hidróxido de calcio es uno de los productos generados por la hidratación del C_3S Y C_2S , de hecho hasta un 15% del peso del cemento es cal hidratada. La adición de una puzolana al cemento genera una oportunidad de convertir esta cal, que está disponible de forma gratuita, en un material cementoso.

- Cenizas Polvo

Es un subproducto procedente de la combustión del carbono pulverizado y clasifica como puzolana. La ceniza volante es

muy similar al cemento en apariencia y en sus propiedades físicas y químicas. Las cenizas volantes como adición al cemento, debido a su composición, son capaces de combinarse con la cal procedente de la hidratación de los componentes activos del cemento portland para dar compuestos, especialmente silicatos hidratados, parecidos a los procedentes de la hidratación del cemento, es decir tobermoritas, que van a contribuir a incrementar las resistencias mecánicas del cemento, a la vez que al reaccionar con la cal la van a fijar impidiendo problemas de lixiviación por aguas puras o ataque por aguas ácidas, mejorando, por tanto, la durabilidad de los concretos y su resistencia a los sulfatos y reacciones alcalinas con sílice. Al mismo tiempo debido a su extremada finura reduce el contenido de aire, mejora la docilidad y la cohesión, reduciendo la tendencia a segregación y a exudación (Fernández Cánovas, 2011).

Las cenizas pueden ser de naturaleza silíceas o calcáreas. Esta última tiene no solo propiedades puzolánicas sino también propiedades hidráulicas. Constan esencialmente de CaO reactiva, SiO_2 reactivo y Al_2O_3 . El resto es Fe_2O_3 y otros componentes, siendo la proporción de CaO no menor del 10% de la masa.

- **Microsílice**

La microsíllice (humo de sílice) es una súper puzolana por las propiedades que proporciona al cemento (Allauca Pincay, Amen Llor y Lung Álvarez, 2009). Es un subproducto pulverulento procedente de la fabricación de hornos eléctricos de sílice y del ferrosilicio a partir de cuarzo, caliza y hierro (Fernández Cánovas, 2011).

En un análisis de su composición se observa que más del 85% es dióxido de sílice (SiO_2) y otros compuestos como CaO (<1%), Al_2O_3 (<1%) y C (<4%)

El papel del humo de sílice como adición en los concretos es doble: uno físico al actuar como plastificante como consecuencia de su finura y, otro químico al reaccionar con el hidróxido cálcico procedente de los compuestos activos del cemento dando lugar a silicatos cálcicos hidratados de composición parecida a los procedentes de la hidratación del

cemento, produciendo un aumento de sus resistencias mecánicas. No sólo son estos los efectos conseguidos sino también un aumento de la adherencia de la pasta a los áridos, una disminución importante de la permeabilidad de los hormigones al cerrar muchos de los conductos capilares que éste posee, y un aumento de la cohesión de la mezcla (Fernández Cánovas, 2011)

El beneficio primordial del microsílíce es el aumento de la durabilidad y el aumento de la protección contra la corrosión del refuerzo estructural al hacer el concreto menos permeable, dando como resultado una mayor resistencia a la penetración de agentes agresivos como los cloruros. (Instituto Americano de Concreto, 2015)

2.2.3. Propiedades del Concreto

2.2.3.1. Concreto en Estado Fresco

El estado fresco se denomina al periodo en que el Concreto se comporta como un fluido. El lapso dura aproximadamente entre 1 y 3 horas (Scanferla Lucas, 2009).

La determinación de estas propiedades permite obtener una mezcla con masa homogénea sin grandes burbujas de aire o agua atrapada.

Las propiedades del concreto en estado fresco, se pueden determinar mediante los ensayos de trabajabilidad, segregación, exudación, masa unitaria, contenido de aire y contenido de agua.

Trabajabilidad o Manejabilidad

La trabajabilidad es la capacidad que tiene el concreto para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna. Esta propiedad está representada por el grado de compacidad, cohesividad, plasticidad y la consistencia. (Niño Hernández, 2014)

Es la facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto mezclado fresco, debiendo poderse trabajar fácilmente con el concreto, pero no debe segregarse ni exudar de manera excesiva (Mamlouk y Zaniewski, 2009).

La prueba de asentamiento es un indicador de la facilidad de trabajo con el concreto a la hora de evaluar mezclas similares. Esta prueba se realiza mediante el cono de Abrams y permite clasificar la consistencia del concreto de acuerdo a los valores de asentamiento.

La consistencia depende de (Torres, 2004):

- Agua de amasado.
- Tamaño máximo del agregado.
- Granulometría.
- Forma de los agregados influye mucho el método de compactación.

Este ensayo, se efectúa de acuerdo a las recomendaciones de la NTP 339.035. Los valores de asentamiento recomendados por el ACI 211.3 son los siguientes (Tabla 3):

Tabla 3: Consistencia del concreto (ACI, 2015).

Consistencia	Asentamiento (cm.)	Grado de Trabajabilidad
Extrema Seca
Muy Seca
Seca	0 – 2.5	Muy pequeño
Semi plástica	2.5 – 7.5	Pequeño
Plástica	7.5 – 12.5	Medio
Alta Plástica	12.5 – 20.0	Alto
Fluida	20.0 a más	Muy Alto

Este ensayo no es válido para concretos cuyo árido sea de tamaño mayor de 40mm, y se recomienda usar este método cuando los asentamientos estén comprendidos dentro de los límites $\geq 1\text{cm}$ y $\leq 21\text{cm}$

La consistencia de un concreto armado es generalmente media, si el concreto se va a bombear se emplea mezcla alta plástica y si el concreto es visto es recomendable emplear consistencia semi plástica, siempre que pueda ponerse en obra y compactarse adecuadamente. La consistencia fluida se emplea en concretos autocompactantes y debe conseguirse con la utilización de aditivos súperplastificante (Fernández Cánovas, 2007).

Tiempo de Fraguado

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

El tiempo de fraguado de una mezcla determinada, es el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. (Laboratorio de Materiales de Construcción, 2003)

Para determinar el tiempo de fraguado de concretos se hará por medio de la media de resistencia a la penetración. Este método permite determinar los efectos sobre el tiempo de fraguado y sobre las características del endurecimiento del concreto de variables tales como temperatura, cemento, proporción de mezclas, adiciones y aditivos. (Gabalec, 2008)

2.2.3.2. Concreto en Estado Endurecido

Las mezclas endurecidas corresponden a la tercera etapa en la vida del concreto, la que comienza en el momento en que este ha alcanzado un grado de hidratación tal de la pasta de cemento que contiene, como para que la misma sea ya capaz de mantener unidos entre si los granos de los agregados en forma permanente. Esto se pone en evidencia por la resistencia que ofrece una pieza de concreto, por ejemplo, al cambio de forma por acción de una sollicitación mecánica (caso del ensayo de compresión).

La resistencia mecánica es la más conocida de las propiedades de la mezcla endurecida. El concreto luego del periodo de fraguado, comienza a dar resistencia hasta endurecerse por completo a los 28 días (Scanferla Lucas, 2009).

Densidad

Según la norma ASTM C-642, se define como el peso de la unidad de volumen de concreto en estado endurecido.

La densidad real de un concreto depende fundamentalmente de la que tengan los áridos, de su granulometría y del volumen de estos que entren en su composición. Una densidad elevada, puede ser un índice de que posee buenas resistencias mecánicas y buena durabilidad; esta se obtendrá con mayor compacidad, es decir cuanto menor sea la cantidad de huecos del concreto o mayor sea la consolidación del mismo (Fernández Cánovas, 2007).

Absorción

La absorción del concreto es la relación que existe entre la masa de agua que penetra los poros saturables y el peso seco de la muestra penetrada por el agua (Sánchez Guzmán, 2003).

Porosidad

La porosidad del concreto es la cantidad de espacios vacíos que quedan inmersos dentro de la masa del material, como consecuencia de la evaporación del agua libre de la mezcla y de la presencia de aire naturalmente atrapado (Sánchez Guzmán, 2003). De acuerdo a su tamaño se dividen en:

- Poros de aire o macroporos: burbujas de aire que se quedan atrapadas naturalmente por medio de la compactación y/o incluidas intencionalmente (aire incorporado). Su diámetro es mayor a 0.2mm.
- Poros capilares: se encuentran por fuera del gel de cemento, su tamaño oscila entre
- 0.00002mm y 0.2mm. Cuando estos aumentan se reduce la resistencia del concreto a los ataques físicos, químicos o biológicos.
- Poros gel o microporos: poros que presenta la pasta de cemento hidratada y endurecida, su diámetro es menor a 0.00002mm.

Los más importantes para la durabilidad del concreto son los poros capilares y los macroporos.

Resistencia a Compresión

La resistencia a compresión es uno de los requisitos principales del diseño estructural para garantizar que la estructura sea capaz de soportar una carga pretendida. También se emplea como medida de calidad, para estimar la durabilidad y resistencia a la meteorización (Mamlouk y Zaniewski, 2009).

La prueba se realiza con probetas cilíndricas y esta estandarizada por la norma ASTM C39. El tamaño estándar de las probetas es de 0.15m (6 pulg.) de diámetro y 0.30 m (12 pulg.) de altura, aunque también pueden utilizarse otros tamaños que tengan relación diámetro-altura igual a dos. Luego de permanecer sumergido en agua durante 28 días, y posteriormente ser sometido a fuerzas de compresión axial en una maquina universal.

Según la NTP339.034 la resistencia a la compresión consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla.

La resistencia a la compresión de la probeta se obtiene dividiendo la carga máxima soportada por la probeta durante la prueba entre el área medida de la sección transversal.

El parámetro obtenido es una propiedad principalmente física y es frecuentemente usado en el diseño de estructuras, se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) o en Megapascales (MPa).

El número de probetas dependerá de las prácticas establecidas y de la naturaleza del programa de prueba. Normalmente, se prueban tres o más probetas para cada edad del concreto y cada condición de prueba. Las edades del concreto utilizadas normalmente son de 7 y 28 días.

2.2.4. La Caliza

La caliza es uno de los recursos calcáreos más importante, se presenta como roca sedimentaria que contiene a lo menos 50% de minerales de calcita (CaCO_3) y dolomita ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$), predominando la calcita.

La caliza tiene como propiedades:

- Aglomerante: como sustancia que hace de unión y proporciona mayor consistencia a los aglomerados y morteros.
- Neutralizante: anula las propiedades de los ácidos.

2.2.4.1. Derivados de la Caliza

Cemento

Para la elaboración del clínker, mezcla base para la fabricación del cemento, se utiliza como materia prima al menos el 70% de caliza (Hernán Acevedo y Roció Guerra, 2005).

Cal

En la elaboración de este derivado se requiere caliza de alta pureza, 90-98% de carbonato de calcio, menos de 5% de óxido de magnesio y menos de 3% de otras impurezas. Este producto que se obtiene calcinando la piedra caliza a 2.000°F (Hernán Acevedo y Roció Guerra, 2005).

Variedades comerciales

- Cal Viva: Material obtenido de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio.
- Cal hidratada: Especie química de hidróxido de calcio, el que se obtiene combinando el óxido de calcio con agua.

- Cal hidráulica: Cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica y alúmina o mezclas sintéticas de composición similar.

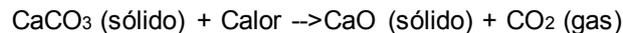
Carbonato de Calcio

El carbonato de calcio es un tipo de material calcáreo, con contenido de calcita por sobre el 80% en su composición.

El carbonato de calcio es un compuesto químico, de fórmula CaCO_3 . Se trata de un compuesto ternario, que entra dentro de la categoría de las oxosales. Es una sustancia muy abundante en la naturaleza, formando rocas, como componente principal, en todas partes del mundo y es el principal componente del esqueleto de todos los organismos vivos.

2.2.5. Óxido de Calcio

Es el carbonato de calcio, que al calcinarlo a temperaturas altas que oscilan entre 900 y 1000 °C, en un horno se descompone en óxido de calcio (CaO) y anhídrido carbónico, de acuerdo a la siguiente reacción química:



El proceso, llamado calcinación, libera una molécula de dióxido de carbono (CO_2), resultando el material llamado óxido de calcio (CaO), de color blanco y muy cáustico (quema los tejidos orgánicos) normalmente contiene también óxido de magnesio, óxido de silicio y pequeñas cantidades de óxidos de aluminio y hierro. Sin embargo, el proceso puede ser reversible, ya que al enfriarse la cal, comienza a absorber nuevamente el CO_2 del aire, y después de un tiempo, vuelve a convertirse en CaCO_3 o carbonato de calcio. (Gonzales Sacsi y Ticona Cansaya, 2016)

2.2.6. Cenizas de Hueso Calcinado

Las cenizas de hueso calcinado es el resultado de transformaciones de materia prima orgánica por medio de la calcinación en un producto inorgánico libre de riesgo o de enfermedades infecciosas. También es el resultado de la esterilización y calcinación de huesos a fuego directo a una temperatura superior a 600° por más de 10 horas en un horno de auto combustión (Calcaneo, 2014).

Composición Química

De acuerdo a un ensayo de Fluorescencia de rayos X (FRX), la composición química del hueso bovino es la siguiente (Tabla 4) (Silva y Delvasto, 2015):

Tabla 4: Componentes del hueso bovino. (Silva y Delvasto, 2015)

Componente	Hueso Bovino (%)
SiO ₂	0.16
Al ₂ O ₃	0.19
Fe ₂ O ₃	0.05
CaO	37.97
MgO	0.59
Na ₂ O	0.82
K ₂ O	0.02
P ₂ O ₅	26.06
S	0.08
Cl	0.06
Zn	0.01
PF	33.99

La composición del material es determinado por difracción de rayos X (DRX), La matriz ósea procedente del ganado bovino está compuesto por hidroxiapatita (HA), carbonatos de calcio, fosfatos de calcio puros y otros elementos como magnesio (Mg), manganeso (Mn), hierro (Fe) e incluso plomo (Pb) en forma natural provenientes de la alimentación y del medio ambiente en general. Asimismo presenta cohesividad y fuerza estructural alta (Piña Barba, Murguía Acevedo y Palma Cortés, 2006).

Otro dato importante sobre los huesos de ganado bovino es conocer su gravedad específica, la cual es de 1,90 g/cm³. (Gutierrez y Martinez, 2017)

En cuanto al contenido orgánico del material, es determinado por un análisis termogravimétrico (TGA) y análisis termodiferencial (DTA) que permiten observar las pérdidas de masa por agua en el hueso y por materia orgánica (colágeno). Este comportamiento es atribuido al proceso de sinterización por flujo viscoso, que ocasiona la disminución de la porosidad abierta del material. (Piña Barba, Murguía Acevedo y Palma Cortés, 2006).

Análisis Termogravimétrico (TGA)

Este análisis registra la pérdida de peso de una muestra en la medida en que se incrementa la temperatura, hasta temperaturas de 1 200°C, bajo condiciones controladas de velocidad de calentamiento y diferentes atmósferas de reacción; obteniéndose por esta vía las curvas denominadas TG o termogramas. (Manals-Cutiño, Penedo-Medina y Giralt-Ortega, 2011)

Análisis Termodiferencial (DTA)

Este análisis mide la diferencia de temperatura entre una muestra y una referencia interna en función del tiempo y de la temperatura. La diferencia de temperatura observada se traduce en un flujo de calor. Esto permite medir transiciones endotérmicas y exotérmicas en función de dicha temperatura. (De la Mata Segarra, Encinar Calvo y Maldonado Gavilán, 2017)

2.3. Hipótesis

2.3.1. Formulación de la hipótesis

La adición de óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado bovino disminuirá el asentamiento del concreto en estado fresco y por ende su consistencia será seca. Además, el fraguado de la mezcla se acelerará por la presencia de mayores silicatos de calcio hidratados.

En cuanto al comportamiento del concreto en estado endurecido, este mejorará la resistencia a compresión, el porcentaje de vacíos reducirá, y con ello la porosidad y la absorción. Su densidad se incrementará debido a que la adición de estas partículas permitirá formar una masa más homogénea.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalidad de variables

3.1.1. Variable Independiente

Óxido de calcio:

La extracción del óxido de calcio será a partir de residuos de ganado bovino.

La dosificación de las cenizas de hueso calcinado está comprendida entre 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% (n_0 , n_1 , n_2 , n_3 , n_4 , n_5 , n_6) del volumen total. Estos residuos serán calcinados a una temperatura entre 750° C y así obtener las cenizas de hueso calcinado. Posteriormente las cenizas serán molidas, hasta alcanzar un tamaño de partículas menor a 75 μm (pasar malla N° 200)

Tabla 5: Operacionalización de la Variable Independiente. (Propia)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Óxido de calcio	Compuesto resultante de la calcinación del carbonato de calcio.	Propiedades físicas	Tamaño granulométrico (μm)
			Tiempo de calcinación (h)
			Temperatura de calcinación ($^{\circ}\text{C}$)
			Pérdida de masa (%)
			Composición

3.1.2. Variables Dependientes

Las propiedades del concreto en estado fresco:

- Trabajabilidad (X), empleando el cono de Abrams y será medido en centímetros (cm) y pulgadas.
- Fraguado (Y), empleando el penetrómetro y será medido en tiempo (min).

Las propiedades del concreto en estado endurecido:

- Compresión (A), para lo cual se elaboraran probetas cilíndricas de diámetro 10 cm y 20 cm de largo. Su medida será en kg/cm^2 .
- Densidad (B), medido en kg/m^3 .
- Porosidad (C) y absorción (D), medidos en porcentajes.

Tabla 6: Operacionalización de Variables Dependientes. (Propia)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Trabajabilidad (X)	Indicador de la facilidad de trabajo con el concreto	Propiedades físicas	longitud de asentamiento (cm)
Fraguado (Y)	Lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido.	Propiedades mecánicas	Tiempo (min) Temperatura (°C) Carga (Libras)
Compresión (A)	Peso de la unidad de volumen de concreto en estado endurecido.	Propiedades mecánicas	Carga de rotura (kg) Área bruta (cm ²)
Densidad (B)	Peso de la unidad de volumen de concreto en estado endurecido.	Propiedades físicas	Peso (kg) Volumen (m ³)
Porosidad (C)	Cantidad de espacios vacíos que quedan inmersos dentro de la masa del material	Propiedades físicas	Peso (kg) Volumen (m ³)
			Densidad (kg/m ³)
Absorción (D)	Relación que existe entre la masa de agua que penetra los poros saturables y el peso seco de la muestra penetrada por el agua	Propiedades físicas	Peso (kg) Volumen (m ³)
			Densidad (kg/m ³)

3.2. Tipo de diseño de investigación

Es un diseño cuasi-experimental, por lo que se manipula la variable independiente para ver su efecto en las variables que dependen de esta, y se trabaja con una observación, después de la aplicación del estímulo o variable independiente.

3.3. Unidad de estudio

Concreto convencional.

3.4. Población

Todos los concretos adicionados con óxido de calcio.

3.5. Muestra

El tipo de muestreo es no probabilístico, siendo la muestra seleccionada por conveniencia aleatoriamente y bajo criterio del investigador.

La muestra seleccionada por este método intenta ser representativas bajo los criterios dictados por el Instituto Americano de Concreto (ACI), establece en el apartado 318-08, sobre los requisitos para concreto estructural que solo es necesario 2 probetas de concreto de 15cm x 30 cm o 3 probetas de 10cm x 20cm.

Es por ello que se conformarán 3 probetas por nivel de estudio y por variable; elaborándose 720 Kg de mezcla de concreto para realizar ensayos en estado fresco y 96 probetas cilíndricas de concreto para ensayos en estado endurecido.

Trabajabilidad: 24 probetas de concreto adicionados con óxido de calcio bajo la NTP 339.035:2009 (ASTM C143) Método de ensayo para la medición del Asentamiento del concreto con el cono de Abrams

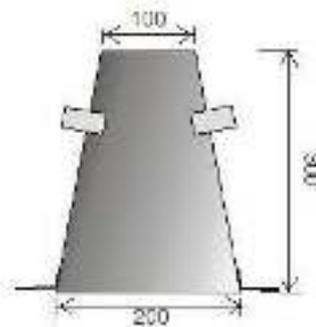


Figura N° 2: Molde para medir asentamiento. (Propia)

Fraguado: 24 probetas de concreto adicionados con óxido de calcio con los diferentes porcentajes de 15 cm. x 15 cm, para ser evaluadas y adecuadas de acuerdo a la NTP 339.082:2011 (ASTM C403) Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración

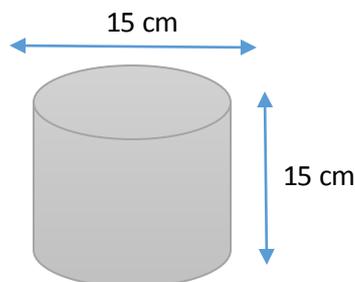


Figura N° 3: Molde para medir tiempo de fraguado. (Propia)

Compresión: 96 probetas de concreto adicionados con óxido de calcio con los diferentes porcentajes de 10 cm. x 20 cm, las que fueron preparadas y curadas bajo la NTP 339.183:2013 (ASTM C192) Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas NTP 339.034:2008 (ASTM C39)



Figura N° 4: Molde para ensayar a compresión. (Propia)

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.

3.6.1. Técnicas de recolección y análisis de datos

Para la recolección de datos de esta investigación se realizó un diseño cuasi-experimental, donde se varía la cantidad de óxido de calcio como adición en el concreto.

Factor X, Y, A, B, C, D: Variable dependiente, propiedades del concreto en estado fresco-endurecido

X = Trabajabilidad (cm)

Y = Fraguado (s)

A = Compresión (kg/cm^2)

B = Densidad (kg/m^3)

C = Porosidad (%)

D = Absorción (%)

Factor n: Variable independiente, dosificación de Óxido de Calcio en porcentajes por volumen (m^3) de mezcla de concreto preparado.

$n_0=0 \text{ %}/\text{m}^3$, $n_1=1 \text{ %}/\text{m}^3$, $n_2=2 \text{ %}/\text{m}^3$, $n_3=3 \text{ %}/\text{m}^3$, $n_4=4 \text{ %}/\text{m}^3$, $n_5=5 \text{ %}/\text{m}^3$ y $n_6=6 \text{ %}/\text{m}^3$

Po ello el número total de probetas realizadas:

– En estado fresco:

N° de muestras: Variable independiente x Variables dependientes (Trabajabilidad, Fraguado) x Numero de niveles de variable independiente x Numero de réplicas:

N° de muestras: $1 \times 2 \times 8 \times 3 = 48$

Cantidad en kilogramos: $24 \times 22 + 24 \times 8 = 720 \text{ Kg}$

– En estado endurecido:

N° de muestras: Variable independiente x Variables dependientes
(compresión, densidad, porosidad y absorción) x Numero de niveles de
variable independiente x Numero de réplicas:

N° de muestras: $1 \times 4 \times 8 \times 3 = 96$ probetas

Tabla 7: Matriz de diseño experimental para estado fresco. (Propia)

		Concreto en estado fresco					
		Trabajabilidad (X)			Fraguado (Y)		
% de Óxido de Calcio	Patrón sp.	n1X1	n1X2	n1X3	n1Y1	n1Y2	n1Y3
	n0=0% cp.	n2X1	n2X2	n2X3	n2Y1	n2Y2	n2Y3
	n1=1% cp.	n3X1	n3X2	n3X3	n3Y1	n3Y2	n3Y3
	n2=2% cp.	n4X1	n4X2	n4X3	n4Y1	n4Y2	n4Y3
	n3=3% cp.	n5X1	n5X2	n5X3	n5Y1	n5Y2	n5Y3
	n4=4% cp.	n6X1	n6X2	n6X3	n6Y1	n6Y2	n6Y3
	n5=5% cp.	n7X1	n7X2	n7X3	n7Y1	n7Y2	n7Y3
	n6=6% cp.	n8X1	n8X2	n8X3	n8Y1	n8Y2	n8Y3

Tabla 8: Matriz de diseño experimental para estado endurecido. (Propia)

		Concreto en estado endurecido											
		Compresión (A)			Densidad (B)			Porosidad (C)			Absorción (D)		
% de Óxido de Calcio	Patrón sp.	n1A1	n1A2	n1A3	n1B1	n1B2	n1B3	n1C1	n1C2	n1C3	n1D1	n1D2	n1D3
	n0=0% cp.	n2A1	n2A2	n2A3	n2B1	n2B2	n2B3	n2C1	n2C2	n2C3	n2D1	n2D2	n2D3
	n1=1% cp.	n3A1	n3A2	n3A3	n3B1	n3B2	n3B3	n3C1	n3C2	n3C3	n3D1	n3D2	n3D3
	n2=2% cp.	n4A1	n4A2	n4A3	n4B1	n4B2	n4B3	n4C1	n4C2	n4C3	n4D1	n4D2	n4D3
	n3=3% cp.	n5A1	n5A2	n5A3	n5B1	n5B2	n5B3	n5C1	n5C2	n5C3	n5D1	n5D2	n5D3
	n4=4% cp.	n6A1	n6A2	n6A3	n6B1	n6B2	n6B3	n6C1	n6C2	n6C3	n6D1	n6D2	n6D3
	n5=5% cp.	n7A1	n7A2	n7A3	n7B1	n7B2	n7B3	n7C1	n7C2	n7C3	n7D1	n7D2	n7D3
	n6=6% cp.	n8A1	n8A2	n8A3	n8B1	n8B2	n8B3	n8C1	n8C2	n8C3	n8D1	n8D2	n8D3

3.6.2. Técnicas, procedimientos e instrumentos

3.6.2.1. Proceso Experimental

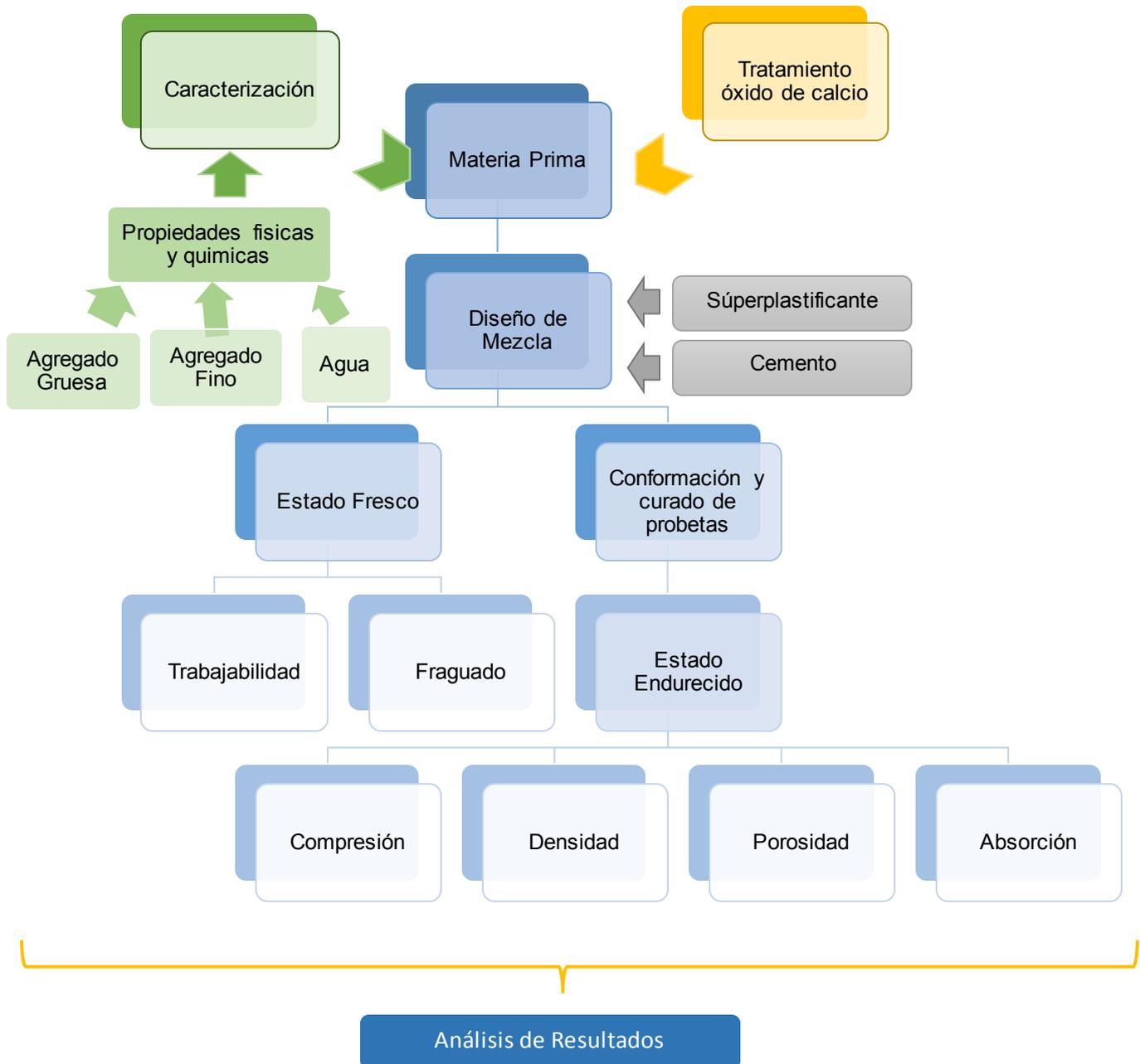


Figura N° 5: Proceso Experimental. (Propia)

3.6.2.2. Caracterización de la Materia Prima

Para la elaboración de la investigación se partió en buscar un agregado que este más accesible y cerca al lugar de la investigación. Empleamos los agregados de la cantera de La Esperanza.

El cemento utilizado es fabricado por Cemento Pacasmayo. Hecho en Pacasmayo, La Libertad, Perú; su denominación comercial es cemento Portland Tipo I.

El súperplastificante es obtenido de la empresa Sika, siendo el producto Sika ViscoCrete-3330

El agua de curado y mezclado es el agua potable utilizada en la ciudad de Trujillo; la cual es utilizada frecuentemente para realizar concreto en laboratorio.

Los residuos de ganado bovino son suministrados por el señor Víctor López Arangurí, quien reside en Carretera Panamericana Norte Km.556 Alt. Curva del Sun, Moche, ciudad de Trujillo. (A la altura del grifo delfin)



Figura N° 6: Ubicación del lugar de extracción de residuos bovinos. (Propia)

3.6.2.2.1. Agregados

A continuación se detallaran cada uno de los ensayos realizados con sus respectivas normativas, para la caracterización

3.6.2.2.1.1. Ensayo granulométrico NTP 400.012 | ASTM C136

El ensayo permite determinar la calidad de los materiales que vayan a ser utilizados como áridos, así como también su garantiza que la distribución de las partículas cumpla los requisitos aplicables.

Procedimiento para el agregado fino

- Se pesó tres muestras de agregado fino de 800 gr cada una. Luego se pesó cada tamiz para obtener el peso de cada uno. (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y malla ciega)
- Después se colocó los tamices de diámetro mayor a menor (desde la N°4 hasta la N°200), para luego ser colocada en la mesa vibratoria. Seguido se colocó la muestra en los tamices y luego se prendió la mesa vibratoria por cinco minutos. Se pesó cada tamiz con la muestra retenida, así se pudo obtener el peso retenido en cada tamiz.
- El módulo de finura se calculó con la siguiente formula:

Ecuación 1: Módulo de finura

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido acumulados en las mallas } N^{\circ} 4, 8, 16, 30, 50, 100)}{100}$$

Procedimiento para el agregado grueso

- Se pesó tres muestras de agregado grueso de 800 gr cada una. Luego se pesó cada tamiz para obtener el peso de cada uno. (1 1/4 ", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°200 y malla ciega).
- Después se colocó los tamices de diámetro mayor a menor (desde la 1" hasta la N°200), para luego ser colocada en la mesa vibratoria. Seguido se colocó la muestra en los tamices y luego se prendió la mesa vibratoria por 5 minutos.
- Finalmente cada tamiz fue pesado con la muestra retenida, así se pudo obtener el peso retenido en cada tamiz.

Tabla 9: Análisis granulométrico de los agregados. (Propia)

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g) A	Peso de tamiz + peso retenido (g) B	Peso retenido (g) C = B - A	% Peso retenido D=C/ΣC	% Peso retenido acumulado E=D ₀ +D ₁	% Que Pasa F=100-E
3/4"	19.00						
1/2"	12.5						
3/8"	9.5						
Nº4	4.75						
Nº8	2.36						
Nº16	1.18						
Nº30	0.6						
Nº50	0.3						
Nº100	0.15						
Nº200	0.08						
Fondo	0						
Peso tamizado (g) =							

3.6.2.2.1.2. Contenido de humedad del NTP 339.185

Este método establece el procedimiento para determinar el porcentaje total de humedad en una muestra de agregado fino o grueso, el cual consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del mismo para determinar su porcentaje de humedad total. Tiene el siguiente procedimiento:

- Se pesó tres muestras de agregado fino y tres de agregado grueso en estado natural (Ph). Luego se colocaron las muestras en la estufa a una temperatura de 100°C ± 5°C por 24 horas, y luego se pesaron las muestras secas (Ps). Después se determinó el contenido de humedad del agregado grueso y fino usando la siguiente expresión:

Ecuación 2: Porcentaje de humedad

$$W\% = \left[\frac{Ph - Ps}{Ps} \right] \times 100$$

Donde:

Ph: Peso Natural del material

Ps: Peso Seco del material

Tabla 10: Contenido de Humedad. (Propia)

Código	Tara (g)	Tara + muestra natural (g)	Tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g)	Peso de la muestra seca (g)	Humedad (%)
				(Ph)	(Ps)	W
M 1						
M 2						
M 3						
					Promedio	

3.6.2.2.1.3. Peso unitario suelto y compactado NTP 400.017 | ASTM C29

Establece la determinación de la densidad de masa (Peso Unitario) del agregado en condición suelto o compactado, para establecer las proporciones de mezclas de cemento portland. Tiene el siguiente procedimiento:

- Se pesó el molde vacío. Luego el agua fue vertido en el molde, hasta llenarlo y luego se tomó el peso, esto nos sirvió para calcular el volumen del molde.
- Seguido se vertió la muestra en el molde, de agregado hasta llenarlo (En el caso del peso unitario compactado se hizo en 3 capas iguales de material en el recipiente y cada capa se compactó uniformemente en todo el recipiente con una varilla 25 veces)
- Se enrazó la superficie. Después se pesó el molde con la muestra y mediante esta fórmula se determinó el peso unitario compactado.
- Los resultados se calcularon con las siguientes formulas:

Ecuación 3: Peso unitario suelto

$$PUSS = \frac{\text{Peso del agregado suelto} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

Ecuación 4: Peso unitario suelto compactado

$$PUCS = \frac{\text{Peso del agregado compactado} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

Tabla 11: Volumen del molde de peso unitario. (Propia)

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso del molde + agua (kg)	Peso del agua (kg)	Factor del agua a 23°C (kg/m ³)	Volumen del molde (m ³)
Volumen del agua	M 1	6.099	20.431	15.115	997.5	0.00213
	M 2	6.098	20.401	15.085		0.00214
	M 3	6.101	20.411	15.095		0.00212
					Promedio	0.00213

Tabla 12: Peso unitario suelto y compactado del agregado. (Propia)

Cód.	Peso del Molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (G) (kg)	Peso de la muestra compactada + molde (G) (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
M 1								
M 2								
M 3								
						Promedio		

3.6.2.2.1.4. Gravedad específica y absorción del agregado grueso NTP 400.021 | ASTM C127

La gravedad específica puede expresarse como gravedad específica en estado seco, gravedad específica en estado SSD o gravedad específica aparente. La primera se utiliza para calcular el volumen ocupado por el árido en mezclas que contengan áridos, incluyendo concreto de cemento portland.

Los valores de absorción se emplean para calcular la variación en peso del árido debida al agua absorbida en los espacios de los poros existentes dentro de las partículas constituyentes, en comparación con el estado seco. Tiene el siguiente procedimiento:

- Se lavó la muestra de grava. Se sumergió dentro de agua el material por 24 horas. Luego se sacó la muestra, se extendió y se secó con un paño la superficie.
- Se pesó en el aire en condición saturada. (B)
- Después se colocó en una cesta de alambre el material y se pesó dentro del agua a una temperatura de 20°C. (C)
- Se secó la muestra a peso constante a temperatura de 100°C ± 5°C, luego se dejó enfriar y se determinó su peso seco a temperatura ambiente. (A)

- Se determina el peso específico y la absorción con las siguientes fórmulas

Ecuación 5: Densidad seca

$$D S = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 6: Densidad saturada superficialmente seca

$$D SSS = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 7: Densidad Aparente

$$D A = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 8: Porcentaje de absorción

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

Donde: *A: Peso en el aire de la muestra seca. (gr)*

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

C: Peso en el agua de la muestra. (gr)

Tabla 13: Gravedad específica y absorción del agregado grueso. (Propia)

Código	P muestra saturada en el aire (g)	P muestra sumergida (g)	P muestra seca (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
			Promedio				

3.6.2.2.1.5. Gravedad específica y absorción del agregado fino NTP 400.022 | ASTM C128

La gravedad específica puede expresarse como gravedad específica en estado seco, gravedad específica en estado SSD o gravedad específica aparente. La primera se utiliza para calcular el volumen ocupado por el

árido en mezclas que contengan áridos, incluyendo concreto de cemento portland. Tiene el siguiente procedimiento:

- Se sumergió la muestra en agua por 24 horas. Luego se tomó la muestra y se colocó encima de una cocina pequeña para secarla, moviendo en ocasiones para tener un secado uniforme.
- En el cono, se rellenó con tres capas compactando con 25 golpes por capa con el pisón. Si al quitar el cono la muestra se derrumba 1/3 de la parte de encima, esto demostrará que el agregado habrá alcanzado su condición saturada superficialmente seca.
- Se pesó la fiola con agua hasta 1000 ml.
- Se colocó la muestra en la fiola antes pesada, y se colocó agua hasta 1000 ml después de colocar el agregado, se hizo rodar la fiola sobre una superficie plana, tratando de eliminar todas las burbujas de aire, durante un minuto. Luego se pesó la fiola con el agua y la muestra mezclada.
- Por último se sacó el agua y se secó la muestra en la estufa a 100°C hasta peso constante y se obtuvo su peso seco.
- Se pasó a calcular con las siguientes fórmulas.

Ecuación 9: Densidad seca

$$D S = \frac{A}{B + S - C}$$

Ecuación 10: Densidad saturada superficialmente seca

$$D SSS = \frac{S}{B + S - C}$$

Ecuación 11: Densidad Aparente

$$D A = \frac{A}{B + A - C}$$

Ecuación 12: Porcentaje de absorción

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

Dónde: *A*=Peso al aire de la muestra seca (g)

B=Peso de la fiola aforado lleno de agua (g)

C=Peso total de la fiola con muestra y llena de agua (g)

S=Peso de la muestra saturada, con superficie seca (g)

Tabla 14: Gravedad específica y absorción del agregado fino. (Propia)

Código	Peso seco (g)	Peso de fiola lleno de agua (g)	Peso de fiola + agua + muestra (g)	Peso de la muestra saturada (g)	Densidad seca (g/cm ³)	Densidad saturada superficialmente seca (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
	A	B	C	S				
				Promedio				

3.6.2.2.1.6. Resistencia a la degradación por abrasión e impacto en máquina Los Ángeles para agregados gruesos NTP 400.019

Esta norma establece el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores a 37.5 mm (1 1/2 pulg) para determinar su resistencia a la degradación utilizando la máquina los Ángeles.

Para la realización de este ensayo se debe de seleccionar el método y el número de esferas según indican las siguientes tablas:

Tabla 15: Número de esferas por gradación. (NTP 400.019)

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (grs)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla 16: Gradación de las muestras de ensayo. (NTP 400.019)

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado (grs)			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	N°4			2500 ± 10	
N°4	N°8				5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tiene el siguiente procedimiento:

- Se seleccionó 5000 gramos de material, se lavó para eliminar las impurezas y secó en una estufa eléctrica a 110°C durante 24 horas.
- Luego se pesó el material (Pa) y se colocó en la máquina de abrasión de Los Ángeles.
- Después de estar 15 minutos el material en la máquina de abrasión, se retiró el material y se tamizó por la malla N°12.
- Se lavó el material retenido en el tamiz N°12 y se secó el material en la estufa eléctrica a 110°C durante 24 horas para obtener el peso final (Pb).
- Se calculó el desgaste con la siguiente fórmula:

Ecuación 13: Porcentaje de desgaste

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Peso inicial (Pa)} - \text{Peso final (Pb)}}{\text{Peso inicial (Pa)}} \times 100$$

Tabla 17: Porcentaje de desgaste a abrasión. (Propia)

Parámetros	M1	M2	M3
A = Peso tara (grs)			
B = P. Muestra seca + P. tara (grs)			
C = P. Muestra tamiz N°12 + P. tara (grs)			
Pa = (B-A): P. Muestra seca (grs)			
Pb = (C-A): P. Muestra tamiz N°12 (grs)			
% de Desgaste = ((Pa-Pb)/Pa)x100			
Desgaste promedio (%)			

3.6.2.2.1.7. Control de calidad de los agregados

Para el control de calidad de los agregados se tendrá en cuenta las especificaciones y requisitos de las normas técnica peruanas (NTP) las que están basadas en las normas americanas (ASTM). En la tabla 18 se observa los requisitos de los agregados para elaboración de concreto.

Tabla 18: Especificaciones de los agregados para el concreto. (NTP 400.037:2014)

Ensayo	Norma	Agregado Fino	Agregado Grueso
Muestreo	NTP 400.010 / ASTM D75	Mínimo ≥ 10 kg	Según TMN
Análisis Granulométrico	NTP 400.037 / ASTM C 33	Ver Tabla N° 22	Ver Tabla N° 23
Módulo de finura		2.3 - 3.1	-
Material más fino que pasa tamiz N°200 (%)	NTP 400.037 / ASTM C 33	Máximo 3% para concretos sujetos a abrasión y 5% para otros concretos.	Máximo 1
Abrasión	NTP 400.037 / ASTM C 33	-	Máxima pérdida de 50%

Tabla 19: Huso granulométrico del agregado fino. (NTP 400.037:2014)

Huso Agregado Fino			
Tamiz	Abertura (mm)	Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.8	95	100
N° 8	2.4	80	100
N° 16	1.2	50	85
N° 30	0.6	25	60
N° 50	0.3	5	30
N° 100	0.2	0	10

Tabla 20: Huso granulométrico del agregado grueso. (NTP 400.037:2014)

Huso Agregado Grueso													
Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados											
		4"	3 1/2"	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8
1	3" - 1 1/2"	100	90 - 100	-	25 - 60	-	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-
2	2 1/2" - 1 1/2"	-	-	100	90 - 100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-	-
3	2" - 1 1/2"	-	-	-	100	90 - 100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 15	-	-	-
357	2" - N°4	-	-	-	100	95 - 100	-	35 - 70	-	10 - 30	-	0 - 5	-
4	1 1/2" - 3/4"	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	-	0 - 5	-	-
467	1 1/2" - N°4	-	-	-	-	100	95 - 100	-	35 - 70	-	10 - 30	0 - 5	-
5	1" - 1/2"	-	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5	-	-
56	1" - 3/8"	-	-	-	-	-	100	90 - 100	40 - 85	10 - 40	0 - 15	0 - 5	-
57	1" - N°4	-	-	-	-	-	100	95 - 100	-	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5
6	3/4" - 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5	-
67	3/4" - N°4	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	-	20 - 55	0 - 10	0 - 5
7	1/2" - N°4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5
8	3/8" - N°8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 - 100	10 - 30	0 - 10

3.6.2.2.2. Óxido de Calcio

Para la obtención del óxido de calcio, se realiza los procesos de recolección, precalcación, molienda, tamizado y calcinación de los huesos de ganado bovino.

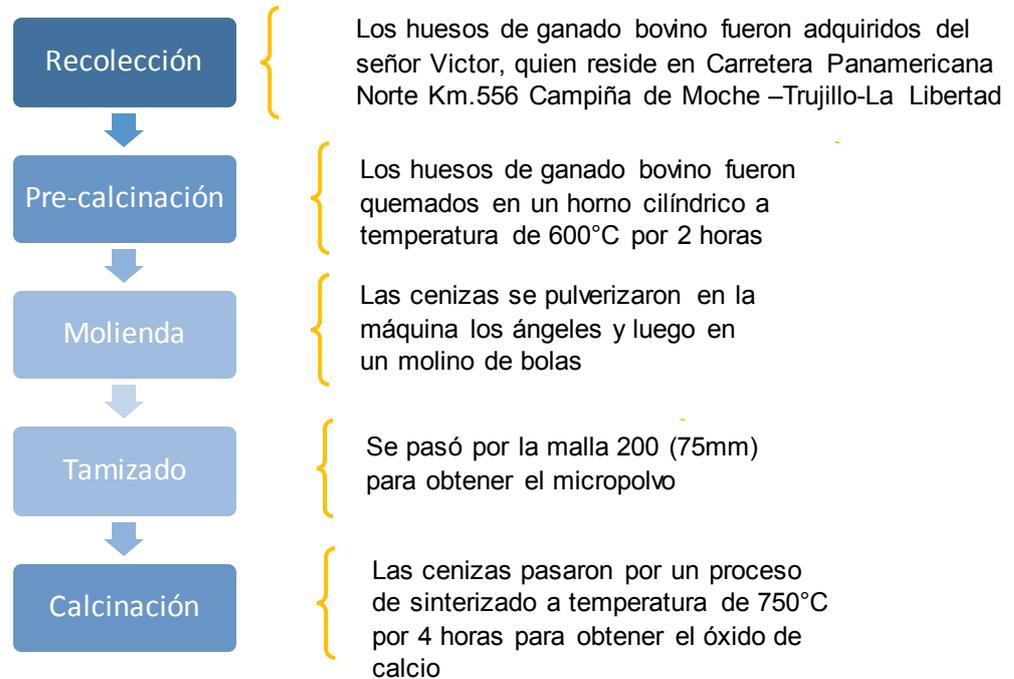


Figura N° 7: Proceso de obtención de Óxido de Calcio. (Propia)

3.6.2.2.3. Súperplastificante

El súperplastificante a usar es Sika ViscoCrete-3330, distribuido por la empresa Sika Aditivos, el cual es un aditivo de alto rango y de tercera generación.

Sika señala que para concretos plásticos suaves la dosis de este aditivo debe estar comprendido en los rangos de 0,4 % - 1 % del peso del cemento. De acuerdo a ensayos se determinó que el porcentaje óptimo para este diseño es el 0.2% del peso del cemento

3.6.2.2.4. Cemento

Cemento utilizado para la elaboración de diseño de mezcla es el cemento portland Tipo I suministrado por Cementos Pacasmayo, el cual es un cemento de uso general que para emplearse en obras no requieran propiedades especiales y cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150.

3.6.2.2.5. Agua

El agua para el diseño de mezcla debe cumplir algunos límites permisibles por ello se realizó un análisis químico de una muestra de agua potable.

Las normas NTP 339,088 y ASTM C-1602 considera para el amasado y/o curado de concretos, los límites siguientes (Tabla 21):

Tabla 21: Límites permisibles para el agua de mezcla. (NTP 339.088)

Límites permisibles para el agua de mezcla	
Ensayos	Límite permisible
Sólidos en suspensión (p.p.m)	50 000
Alcalinidad (NaHCO ₃) (p.p.m)	600
Sulfatos (lón SO ₄) (p.p.m)	3 000
Cloruros (lón Cl) (p.p.m)	1 000

3.6.2.3. Elaboración de diseño de mezcla

El siguiente procedimiento corresponde al Instituto Americano del Concreto ACI-211

PASO 1: Elección del asentamiento, de acuerdo al tipo de estructura

Tabla 22: Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras. (ACI 211.1, 2002)

Tipo de Estructura	Slump, mm	
	Slump Máximo	Slump Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75	25
Cimentaciones simples y calzaduras	75	25
Vigas y muros armados	100	25
Columnas	100	25
Muros y pavimentos	75	25
Concreto ciclópeo	75	25

PASO 2: Selección del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado. De acuerdo al ensayo de granulometría del agregado grueso el TMN es de 1/2"

PASO 3: Selección del contenido de agua y estimación del contenido de aire Tabla 23

Tabla 23: Contenido de agua y estimación de contenido de aire aproximado en el concreto. (ACI 211.1, 2002)

Slumps, mm	Agua en lt/m ³ , para TNM agregados y consistencia indicada								
	9.5	12.5	19	25	37.5	50	75	150	
Concreto sin aire incorporado									
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113	
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124	
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-	
Contenido de aire aproximado en el concreto (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
Concreto con aire incorporado									
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107	
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119	
150 a 175	216	205	187	184	174	166	154	-	
Contenido de aire recomendado de acuerdo a nivel de exposición (%)									
*Exposición templada	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	
*Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	
*Exposición extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	

PASO 4: Estimación de la relación agua/cemento

El diseño de mezcla es elaborado para una resistencia a compresión de 280 kg/cm², al cual se le sumará un factor de seguridad de 84, obteniendo como f_c: 364 kg/cm².

Tabla 24: Relación entre la compresión y la relación agua/cemento. (ACI 211.1, 2002)

F' _c (Kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
210	0,68	0,59
250	0,62	0,53
280	0,57	0,48
300	0,55	0,46
350	0,48	0,4
400	0,43	
420	0,41	
450	0,38	

La Tabla 24 muestra algunos valores de relación agua /cemento, por lo que se interpoló las medidas, obteniendo una relación a/c de 0.466

PASO 5: Cálculo del contenido del cemento: Paso 4/Paso 5

Dividiendo entre 42,5 se obtiene el número de bolsas de cemento por metro cúbico de concreto.

$$r = \frac{a}{c} \rightarrow 0.466$$

$$Cemento = 463.52 \frac{kg}{m^3}$$

$$V_c = \frac{c}{\gamma \cdot espf. \text{ del cemento}} = \frac{463.52 \text{ kg}}{3100 \text{ kg}/m^3} = 0.1495 m^3$$

PASO 6: Estimación del contenido de agregado grueso

Se basa en el volumen unitario del concreto, expresado por la relación de b/b_o en donde b es el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de concreto y b_o es el volumen de las partículas del agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso.

Donde b_o es:

$$b_o = \frac{MUC}{dg} = \frac{1598.09}{2639} = 0.606$$

La Tabla 25 se muestra los valores de b/b_o , en función del TMN y del módulo de finura.

Tabla 25: Peso del agregado grueso por unidad de volumen (b/b_o). (ACI 211.1, 2002)

TMN Tamaño Máx. Nominal del Agregado Grueso	Módulo de Finura del Agregado Fino			
	2,4	2,6	2,8	3,00
3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Debido a que el módulo de finura del agregado fino es de 2.502, se interpoló los valores, obteniendo b/b_o : 0.58

El volumen de agregados grueso se calculó multiplicando el valor de b/b_o , obtenido de la Tabla 25 por b_o .

$$V_{AG} = (b/b_o) \times b_o = 0.58 \times 0.606 = 0.351 m^3$$

PASO 7: Estimación del contenido de agregado fino

Se calculó mediante el uso de volúmenes de los materiales, que para este caso, el volumen total de los ingredientes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso) se resta del volumen requerido de arena.

$$V_{AF} = 1 - (0.025 + 0.216 + 0.1495 + 0.351) = 0.2585m^3$$

PASO 8: Diseño de mezcla inicial

En la Tabla 26 se muestra un resumen de las cantidades en peso y volumen por metro cúbico de concreto.

Tabla 26: Diseño de mezcla inicial. (Propia)

Elemento	Peso por m ³ (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento	463.52	3 100	0.1495
Aire	32.5	1 300	0.025
Agua	216	1 000	0.216
Grava	926	2 639	0.351
Arena	726.51	2 810.5	0.2585
Total	2 332.03		1.00

PASO 9: Ajuste de la cantidad de agua por los pesos húmedos de los agregados

Primero se realizó el ajuste de la cantidad de agua, para lo cual se aplicó la siguiente fórmula.

$$W_{corregido} = W_{mat} \times (Abs - H)$$

$$W_{corregido} AG = 926 \times (0.0222 - 0.002539) = 18.206 \text{ Kg}$$

$$W_{corregido} AF = 726.51 \times (0.0148 - 0.00555) = 6.72021 \text{ Kg}$$

$$H_2O = 24.926 \text{ Kg}$$

$$H_2O_{corregido} = 216 + 24.926 = 240.926 \text{ Kg}$$

Luego se realizó el ajuste de la cantidad de agregados de acuerdo a su humedad, para lo cual se aplicó la siguiente fórmula

$$W_{corregido} = W_{mat} \times (1 + \%H)$$

$$W_{corregido} AG = 926 \times (1 + 0.002539) = 928.35 \text{ Kg}$$

$$W_{corregido} AF = 726.51 \times (1 + 0.00555) = 730.54 \text{ Kg}$$

PASO 10: Diseño de mezcla con ajuste por humedad

En la Tabla 27 se muestra un resumen de las cantidades en peso y volumen por metro cúbico de concreto.

Tabla 27: Diseño de mezcla con ajustes de humedad. (Propia)

Elemento	Peso por m ³ (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento	463.52	3 100	0.1495
Aire	32.5	1 300	0.025
Agua	240.926	1 000	0.240
Grava	928.35	2 639	0.352
Arena	730.54	2 810.5	0.260
Total	2 363.336		1.00

PASO 11: Diseño de mezcla para conformación de probetas

Para la conformación de probetas se elaboró 22 Kg de concreto según el diseño de mezcla. Asimismo se añadió súperplastificante Sika ViscoCrete-3330 en proporción 0.2% del peso del cemento, el cual se mantuvo constante.

En cuanto a la adición de óxido de calcio se hizo en porcentajes de 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% con respecto al volumen total. En la Tabla 28 se observa el diseño de mezcla para cada porcentaje.

Tabla 28: Diseño de mezcla para cada porcentaje. (Propia)

Materiales	Porcentajes de Óxido de Calcio							
	Patrón sp	n0=0% cp	n1=1% cp	n2=2% cp	n3=3% cp	n4=4% cp	n5=5% cp	n6=6% cp
C de Calcio (kg)	0.00	0.00	0.22	0.44	0.66	0.88	1.10	1.32
Cemento (kg)	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32
Agua (kg)	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
Grava (kg)	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64	8.64
Arena (kg)	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80	6.80
Aditivo (mg)	0.00	8.62	8.62	8.62	8.62	8.62	8.62	8.62
Total (kg)	22.00	22.00	22.22	22.44	22.66	22.88	23.10	23.32
R a/c	0.52	0.52	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.40

3.6.2.4. Ensayos para evaluar las propiedades del concreto

3.6.2.4.1. Propiedades en Estado Fresco

3.6.2.4.1.1. Ensayo de Trabajabilidad NTP 339.035 (ASTM C143)

- Se utilizó un cono de Abrams, de dimensiones \varnothing inferior 200 mm, \varnothing superior 100 mm, Altura 300 mm y una varilla de acero liso con punta semiesférica de \varnothing 5/8" (16 mm) x 24" (600 mm), los cuales fueron humedecidos antes de utilizar.
- Se mantuvo el cono firme contra la base, parándose sobre las dos aletas y se llenó la mezcla en 3 capas de aproximadamente 1/3 del volumen del cono cada una. Se compactó con la varilla cada capa con 25 golpes.
- En seguida se levantó el cono verticalmente y se midió la distancia entre la altura del molde y el centro de la cara superior de la mezcla.

Tabla 29: Ensayo de asentamiento. (Propia)

Porcentajes	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio	
	cm	in	cm	in	cm	in	cm	in

3.6.2.4.1.2. Ensayo de Tiempo de Fraguado NTP 339.082:2011 (ASTM C403)

- Se tamizó la muestra a través del tamiz N°4 y luego se colocó en un recipiente hasta una altura no menor a 135 mm. de manera homogénea. Las muestras se almacenaron a temperatura ambiente
- Se realizó el ensayo en el penetrómetro con agujas de área 1/40, 1/20, 1/10, 1/4, 1/2 y 1 pulgada cuadrada. Se insertó la aguja de área adecuada, según el endurecimiento de la muestra en el aparato de medición de la resistencia a la penetración.
- Se aplicó una fuerza vertical de arriba hacia abajo con el aparato, gradual y uniformemente, hasta que la aguja penetre 25mm en la superficie de la muestra. El tiempo necesario para la penetración fue de aproximadamente diez segundos. Se registró la fuerza necesaria y el tiempo transcurrido a partir del contacto de la aguja con el cemento.
- Para este ensayo, se dio inicio dos horas después del mezclado y se lo repitió a intervalos de media hora.

Tabla 30: Ensayo tiempo de fraguado. (Propia)

Tiempo transcurrido (t) (min)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg ²)	log(t)	log(RP)	log(t)*log(RP)	log(t)^2

3.6.2.4.2. Propiedades en Estado Endurecido

3.6.2.4.2.1. Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio NTP 339.183 (ASTM C192)

- Se pesó los materiales a utilizar en el concreto.
- Luego se pasó a mezclar los materiales manualmente debido a que se trabajó con mezclas menores a 0.007 m³.
- El mezclado se realizó de la siguiente manera: El cemento se combinó con el agregado fino, luego se adicionó el agregado grueso, después de que los materiales antes descritos estén completamente mezclados se agregó agua con aditivo.
- Seguidamente se conformaron 24 probetas de 100 x 200 mm (4x8 in), en dos capas varilladas con 25 golpes y 12 golpes exteriormente con el mazo de hule. La varilla utilizada fue de 3/8 tal y como se describe en la Norma ASTM C192.
- Se retiró los moldes a las 30 horas después de moldeados. Luego se introdujeron en la posa de curado, por 28 días para luego ser ensayadas a compresión. La poza tenía agua potable a temperatura 23° C+2 °C incorporada con cal.

3.6.2.4.2.2. Refrendado de testigos cilíndricos de concreto NTP 339.037 (ASTM C617)

Consiste en la preparación y acondicionamiento de las probetas para luego ser ensayadas. Se refrendan con mortero de azufre para conseguir una distribución uniforme de la carga. El procedimiento que se siguió fue:

- El azufre se calentó en una olla a una temperatura de 130 C°.
- Se aplicó una capa delgada de aceite sobre el molde, con la finalidad de poder retirar la probeta del plato más fácilmente

- Se adicionó el azufre derretido en el molde e inmediatamente se colocó la probeta encima, esperamos unos segundos y se retiró la probeta del molde.
- Se verificó que las probetas estén niveladas y de no estarlo se volvieron a cabecear.
- Luego se dejó endurecer por 2 horas como se describe en la ASTM C617.
- En seguida se realizó el ensayo de resistencia a compresión

3.6.2.4.2.3. Ensayo de Resistencia a Compresión NTP 339.034 (ASTM C39)

- Se retiró las probetas de la poza de curado luego de 28 días.
- Luego se midió el diámetro de la probeta con el micrómetro con la aproximación de 0,1mm, estos diámetros se utilizaron para calcular el área de la sección. Se limpió las superficies planas superior e inferior de la máquina y también ambas bases de cada probeta.
- Luego se colocó la probeta centrada en la prensa y se aplicó la carga en forma continua a una velocidad de 2.40 KN/s.
- La resistencia a compresión se calculó mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 14: Resistencia a compresión

$$R_c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

Donde:

R_c = Resistencia de rotura a la compresión, (kg/cm²)

G = Carga máxima de rotura. (Kg.f)

d = Diámetro de la probeta cilíndrica. (cm)

Tabla 31: Ensayo de resistencia a compresión. (Propia)

Probeta	Dimensiones		Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)
	L (mm)	D (mm)			

3.6.2.4.2.4. Determinación de Densidad ASTM C 642

- Se retiró las probetas de la poza de curado después de 28 días.
- Se midió la masa aparente mientras estaban sumergidos bajo el agua (P_m).
- Luego se secó superficialmente, para luego determinar su peso saturado seco (P_{sss}).
- Luego se llevaron las probetas al horno y se dejaron por 72 horas, pasado este tiempo se midió su masa seca (P_s).
- Finalmente se calculó la densidad seca, absorción y porosidad

Ecuación 15: Densidad en seco

$$D = \frac{(P_s)}{(P_{sss} - P_s)}$$

Ecuación 16: Porcentaje de absorción

$$A = \frac{(P_{sss} - P_s) \times 100}{P_s}$$

Ecuación 17: Porcentaje de porosidad

$$P A = \frac{(P_{sss} - P_s) \times 100}{(P_{sss} - P_m)}$$

Donde:

P_s = Peso seco de la muestra

P_{sss} = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca

P_m = Peso sumergido de la muestra

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

En cuanto al análisis de los resultados obtenidos de la investigación primero se clasificará los datos obtenidos de los ensayos, luego se tabulará y graficará los resultados mediante la estadística, empleándose la media como la principal medida de tendencia central y las medidas de dispersión como la varianza, desviación estándar y coeficiente de variación

3.7.1. Media aritmética

Es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos (Promedio).

Se suma todos los datos de cada ensayo por dosificación así como lo indica la formula siguiente:

Ecuación 18: Media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n}$$

Donde:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \text{Media Aritmética.} \\ \Sigma &= \text{Sumatoria.} \\ xi &= \text{Observación de la muestra.} \\ n &= \text{Tamaño de la muestra.}\end{aligned}$$

3.7.2. Varianza

Es una medida de dispersión que mide la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central (Media).

Para determinar la varianza de nuestros ensayos, se reemplaza los datos hallados de cada dosificación en la siguiente fórmula:

Ecuación 19: Varianza

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= \text{Varianza} \\ \Sigma &= \text{Sumatoria.} \\ xi &= \text{Observación de la muestra.} \\ \bar{x} &= \text{Media Aritmética.} \\ n &= \text{Tamaño de la muestra.}\end{aligned}$$

3.7.3. Desviación estándar

Es una medida de dispersión de variables, muy usada en trabajos de investigación. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar es necesario sacar la raíz a la varianza.

Los datos de la varianza de cada ensayo se reemplaza en la formula siguiente para determinar la desviación estándar:

Ecuación 20: Desviación estándar

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Dónde: $\sigma^2 = \text{Varianza}$

3.7.4. Coeficiente de variación

Es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. El coeficiente de variación no se basa en unidades, se utiliza en lugar de la desviación estándar como en la ASTM C39, para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias, se representa en porcentaje.

El dato de la desviación estándar hallado anteriormente es dividido por la media aritmética y multiplicado por 100 como lo indica la fórmula siguiente:

Ecuación 21: Coeficiente de variación

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

DS = Desviación estándar

\bar{x} = Media Aritmética

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de la materia prima

4.1.1. Agregados

4.1.1.1. Agregado Fino

Tabla 32: Características del Agregado Fino. (Propia)

Ensayo	Norma	Resultado	Rango
Análisis Granulométrico	NTP 400.012 / ASTM C136		Ver Tabla N° 21
Módulo de Finura		2.5	2.3 - 3.1
Material más fino que pasa tamiz N°200:(%)	NTP 400.018 / ASTM C117	1.3	Máximo 3% para concretos sujetos a abrasión y 5% para otros concretos.
Contenido de humedad	NTP 339.185/ ASTM C566	0.5	-
Peso unitario suelto (kg/m ³)	NTP 400.017 / ASTM C29	1700	-
Peso unitario compactado (kg/m ³)	NTP 400.017 / ASTM C29	1890	-
Peso específico (g/cm ³)	NTP 400.022 / ASTM C128	2.8	-
Absorción (%)	NTP 400.022 / ASTM C128	1.4	-

Tabla 33: Composición del Agregado Fino. (Propia)

Composición de la muestra	
% Grava (de 3" a 3/8"):	0
% Grano grueso (N°4 a N°8):	7.43
% Grano medio (N°16 a N°30):	42.41
% Grano fino (N°50 a N°200):	49.36
% Limo-arcilloso (<N°200)	0.80
Total	100

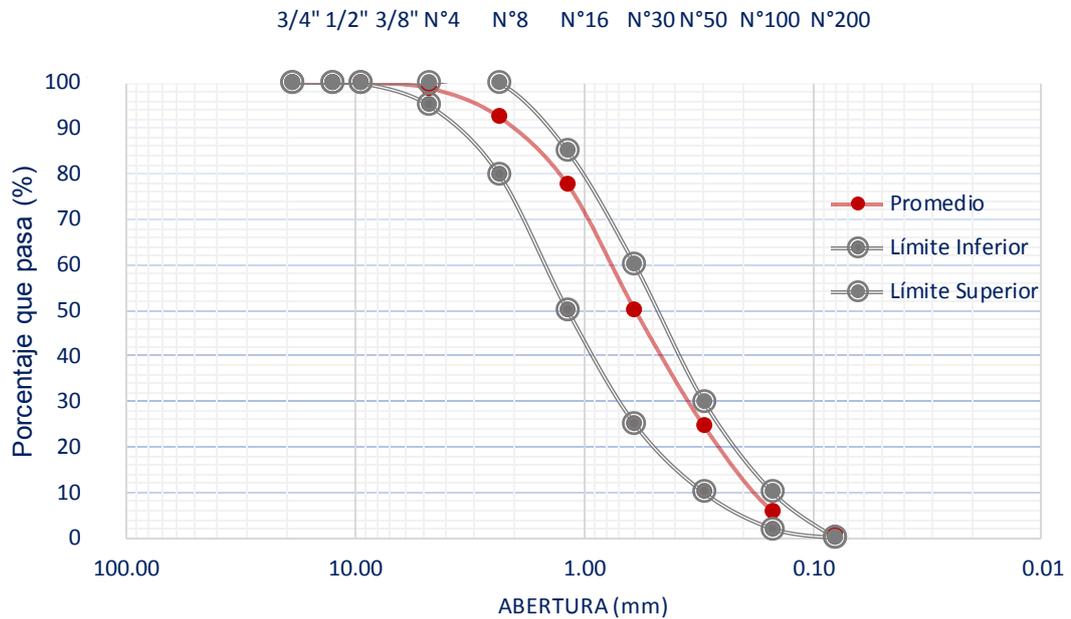


Figura N° 8: Curva granulométrica del agregado fino. (Propia)

4.1.1.2. Agregado Grueso

Tabla 32: Características del Agregado Grueso. (Propia)

Ensayo	Norma	Resultado	Rango
Análisis Granulométrico	NTP 400.012 / ASTM C136	TM 19 mm (3/4")	-
		TMN 13.2 mm (1/2") - Huso 7	Ver Tabla N° 22
Material más fino que pasa tamiz N°200: (%)	NTP 400.018 / ASTM C117	0.5	Máximo 1
Contenido de humedad (%)	NTP 339.185/ ASTM C566	0.2	-
Peso unitario suelto (kg/m ³)	NTP 400.017 / ASTM C29	1400	-
Peso unitario compactado (kg/m ³)	NTP 400.017 / ASTM C29	1600	-
Peso específico (g/cm ³)	NTP 400.021 / ASTM C127	2.6	-
Absorción (%)	NTP 400.021 / ASTM C127	2.2	-
Abrasión (%)	NTP 400.019 / ASTM C131	19	Máxima pérdida de 50

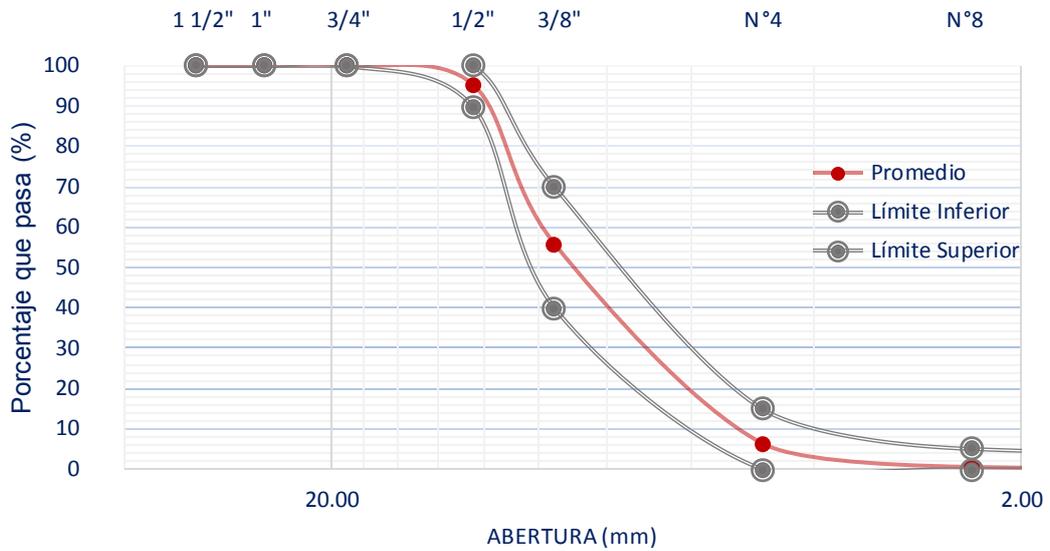


Figura N° 9: Curva granulométrica del agregado grueso. (Propia)

Tabla 34: Características de los áridos para el diseño de mezcla. (Propia)

Caracterización	Agregado grueso	Agregado fino
Granulometría		
*TM	3/4"	
*TMN	1/2"	
*Módulo de finura	6.44	2.5
*Huso Granulométrico	7	
Masa unitaria		
*masa unitaria compactada (kg/m ³)	1600	1890
*masa unitaria suelta (kg/m ³)	1400	1700
Densidad aparente (kg/m ³)	2640	2810
Absorción (%)	2.2	1.4
Humedad natural (%)	0.2	0.5

4.1.2. Agua

Tabla 35: Requisitos químicos del agua. (Fernández Cánovas, 2011)

Requisitos Químicos		
Ensayo	Resultado	Rango
Ph	6,0	5,0 – 8,0
Sal (p.p.m.)	800	< 1000
Conductividad (uS/cm)	1421	< 1500
Sólidos en suspensión (p.p.m.)	961	< 5000

4.1.3. Óxido de calcio

Para determinar la temperatura de sinterización de las cenizas de ganado bovino y así eliminar sus componentes orgánicos que pueden influenciar en la durabilidad del concreto.

Se realizó el ensayo TGA termogravimétrico el cual muestra la pérdida de masa conforme aumenta la temperatura y el ensayo DTA Calorímetro diferencial de barrido, que mide el flujo de calor en función a la temperatura.

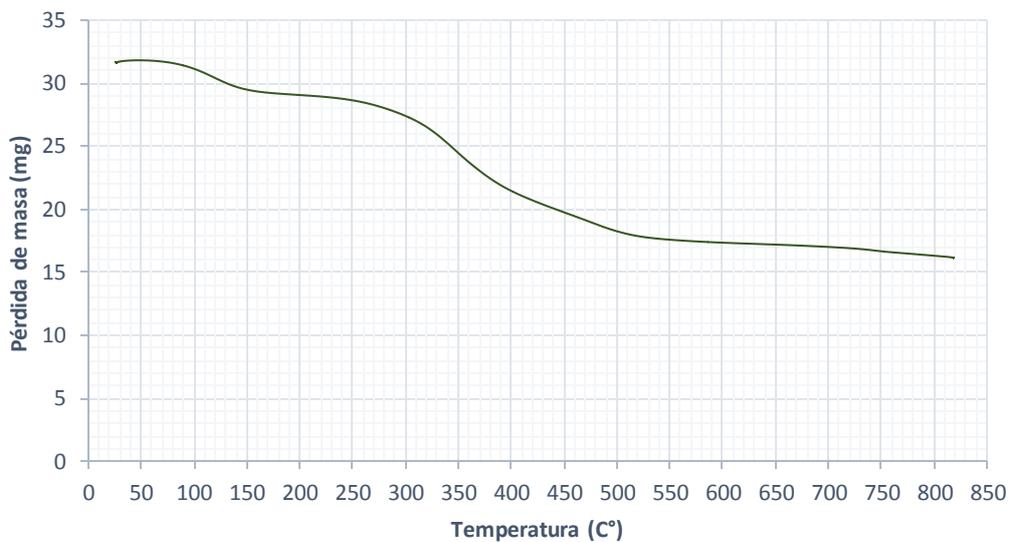


Figura N° 10: Análisis termogravimétrico. (Propia)

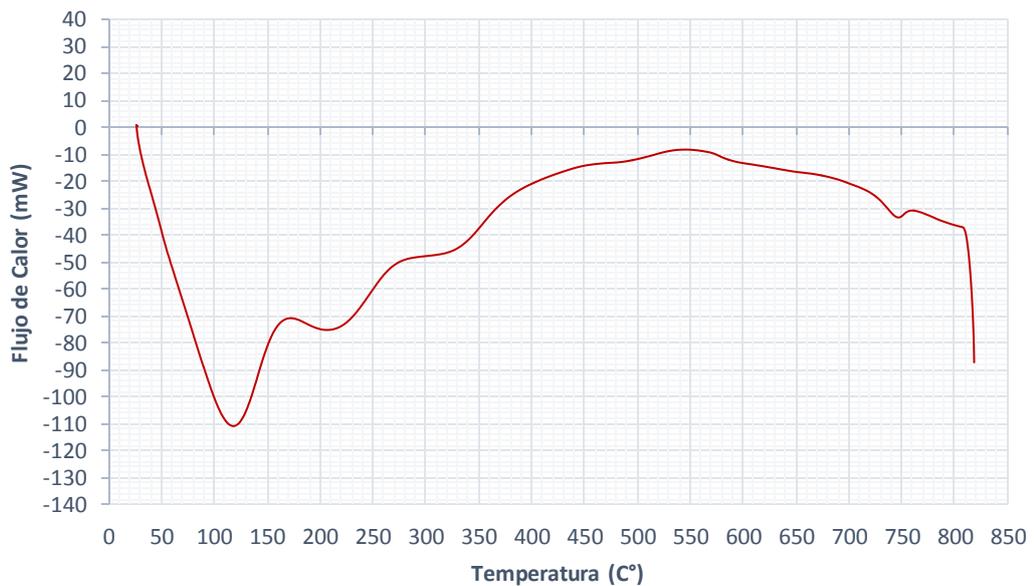


Figura N° 11: Análisis calorímetro diferencial de barrido. (Propia)

4.2. Diseño de Mezcla

Tabla 36: Diseño de mezcla. (Propia)

Elemento	Peso por m ³ (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento	463.52	3 100	0.14
Aire	32.5	1 300	0.02
Agua	240.92	1 000	0.24
Grava	928.35	2 639	0.35
Arena	730.54	2 810	0.26
Total	2 363.34		1.00

4.3. Propiedades en Estado Fresco

4.3.1. Trabajabilidad NTP 339.035 (ASTM C143)

Tabla 37: Media, Variación, desviación estándar para asentamiento. (Propia)

Porcentajes	Promedio de Asentamiento	Varianza	Desviación Estándar (in)	Desviación estándar (in) ASTM C143	Rango aceptable para cuatro resultados (in) ASTM C143
	in				
Patrón sp	3 1/4	0.06	0.25	0.38	1.37
n0=0% cp	8 1/2	0.06	0.25	0.4	1.44
n1=1% cp	8	0.06	0.25	0.4	1.44
n2=2% cp	6 1/2	0.06	0.25	0.4	1.44
n3=3% cp	5 1/4	0.06	0.25	0.4	1.44
n4=4% cp	4 1/4	0.06	0.25	0.4	1.44
n5=5% cp	2 1/2	0.06	0.25	0.4	1.44
n6=6% cp	1 1/2	0.06	0.25	0.4	1.44

4.3.2. Tiempo de Fraguado NTP 339.082:2011 (ASTM C403)

Tabla 38: Tiempo de Fraguado y temperatura del concreto. (Propia)

Porcentajes	Tiempo de Fraguado Promedio (min)		Temperatura Promedio (°C)	
	Tiempo Inicial	Tiempo Final	T concreto	T ambiente
Patrón sp	258	402	27.0	25.3
n0=0% cp	282	422	27.1	25.2
n1=1% cp	267	410	26.6	25.2
n2=2% cp	264	390	26.1	24.9
n3=3% cp	260	379	26.1	24.8
n4=4% cp	256	375	25.7	24.7
n5=5% cp	257	376	25.8	24.7
n6=6% cp	265	387	25.8	24.6

Tabla 39: Ensayo Tiempo de Fraguado. (Propia)

Porcentajes	Tiempo de Fraguado					
	Tiempo Inicial		Tiempo Final		Δ Tiempo	
	min	h,min	min	h,min	min	h,min
Patrón sp	258	4 25	402	6 42	143	2 23
n0=0% cp	282	4 42	422	7 02	140	2 20
n1=1% cp	267	4 27	410	6 50	143	2 23
n2=2% cp	264	4 21	390	6 30	126	2 06
n3=3% cp	260	4 20	379	6 19	119	1 59
n4=4% cp	256	4 16	375	6 15	118	1 58
n5=5% cp	257	4 17	376	6 16	119	1 59
n6=6% cp	265	4 25	387	6 27	122	2 02

Tabla 40: Media, Variación, desviación estándar para fraguado inicial. (Propia)

Mezclas	Porcentajes	Fraguado Inicial (min)	Varianza	Desviación Estándar (min) ASTM C403	Rango aceptable de tres resultados (min) NTP 339.082
% de Óxido de Calcio	Patrón sp	258	27.73	5.27	11.40
	n0=0% cp	282	12.75	3.57	
	n1=1% cp	267	28.41	5.33	
	n2=2% cp	264	27.05	5.20	
	n3=3% cp	260	16.86	4.11	
	n4=4% cp	256	5.70	2.39	
	n5=5% cp	257	15.09	3.88	
	n6=6% cp	265	26.22	5.12	

Tabla 41: Media, Variación, desviación estándar para fraguado final. (Propia)

Mezclas	Porcentajes	Fraguado Final (mim)	Varianza	Desviación Estándar (mim) ASTM C403	Rango aceptable de tres resultados (mim) NTP 339.082
% de Óxido de Calcio	Patrón sp	402	13.66	3.70	14.60
	n0=0% cp	422	27.42	5.24	
	n1=1% cp	410	15.81	3.98	
	n2=2% cp	390	25.05	5.01	
	n3=3% cp	379	51.95	7.21	
	n4=4% cp	375	9.74	3.12	
	n5=5% cp	376	23.30	4.83	
	n6=6% cp	387	37.65	6.14	

4.4. Propiedades en Estado Endurecido

4.4.1. Resistencia a Compresión NTP 339.034 (ASTM C39)

Tabla 42: Ensayo de Resistencia a Compresión. (Propia)

% de Óxido de Calcio	Probeta	Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio (Kg/cm ²)
Patrón sp	A11	235.6	30	302
	A12	237.4	30.23	
	A13	237	30.17	
n0=0% cp	A21	242.3	30.85	309
	A22	243.3	30.98	
	A23	241.8	30.79	
n1=1% cp	A31	244.6	31.14	312
	A32	245.7	31.28	
	A33	245.1	31.21	
n2=2% cp	A41	264	33.62	337
	A42	263.8	33.59	
	A43	265.2	33.76	
n3=3% cp	A51	268	34.12	341
	A52	267.2	34.03	
	A53	267.8	34.1	
n4=4% cp	A61	279.9	35.64	353
	A62	275.3	35.06	
	A63	276.4	35.19	
n5=5% cp	A71	263.2	33.51	335
	A72	262.7	33.45	
	A73	263.1	33.5	
n6=6% cp	A81	254	32.34	325
	A82	254.4	32.39	
	A83	255.5	32.53	

Tabla 43: Media, Variación, desviación estándar para compresión. (Propia)

Porcentajes	Resistencia Promedio (Kg/cm ²)	Varianza	Desviación Estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación ASTM C39 (Kg/cm ²)	Rango aceptable (Kg/cm ²) ASTM C39
Patrón sp	302	2.33	1.53	3.20	11.52
n0=0% cp	309	0.93	0.97		
n1=1% cp	312	0.61	0.78		
n2=2% cp	337	1.26	1.12		
n3=3% cp	341	0.16	0.40		
n4=4% cp	353	27.26	5.22		
n5=5% cp	335	4.45	2.11		
n6=6% cp	325	0.22	0.47		

4.4.2. Absorción ASTM C 642

Tabla 44: Media, Variación, desviación estándar para absorción. (Propia)

Porcentajes	Absorción Promedio (%)	Varianza	Desviación Estándar (%)
Patrón sp	7.2	0.01	0.10
n0=0% cp	6.1	0.18	0.42
n1=1% cp	5.0	0.29	0.54
n2=2% cp	3.3	1.14	1.07
n3=3% cp	2.0	0.01	0.10
n4=4% cp	1.5	0.02	0.15
n5=5% cp	1.8	0.01	0.10
n6=6% cp	2.2	0.45	0.67

4.4.3. Porosidad ASTM C 642

Tabla 45: Media, Variación, desviación estándar para porosidad. (Propia)

Porcentajes	Porosidad Promedio (%)	Varianza	Desviación Estándar (%)
Patrón sp	16.0	0.05	0.22
n0=0% cp	13.9	0.87	0.93
n1=1% cp	11.4	1.43	1.20
n2=2% cp	7.7	6.12	2.47
n3=3% cp	4.7	0.06	0.25
n4=4% cp	3.6	0.12	0.35
n5=5% cp	4.2	0.06	0.24
n6=6% cp	5.2	2.48	1.57

4.4.4. Densidad en seco ASTM C 642

Tabla 46: Densidad en seco del concreto. (Propia)

% de Óxido de Calcio	Probeta	Peso saturado (kg)	Peso sumergido (kg)	Peso seco (kg)	Densidad (kg/m ³)	Densidad Promedio (kg/m ³)
Patrón sp	A11	3.824	2.227	3.567	2234	2230
	A12	3.823	2.223	3.564	2228	
	A13	3.847	2.236	3.593	2230	
n0=0% cp	A21	3.835	2.243	3.602	2263	2270
	A22	3.82	2.23	3.594	2260	
	A23	3.843	2.24	3.637	2269	
n1=1% cp	A81	3.847	2.244	3.686	2299	2290
	A82	3.836	2.242	3.64	2284	
	A83	3.82	2.236	3.632	2293	
n2=2% cp	A31	3.851	2.244	3.719	2314	2320
	A32	3.767	2.178	3.687	2320	
	A33	3.832	2.247	3.675	2319	
n3=3% cp	A71	3.788	2.208	3.715	2351	2360
	A72	3.802	2.219	3.731	2357	
	A73	3.839	2.247	3.76	2362	
n4=4% cp	A41	3.797	2.215	3.744	2367	2370
	A42	3.824	2.236	3.76	2368	
	A43	3.78	2.205	3.724	2364	
n5=5% cp	A51	3.81	2.217	3.747	2352	2360
	A52	3.831	2.236	3.765	2361	
	A53	3.806	2.223	3.736	2360	
n6=6% cp	A61	3.837	2.244	3.733	2343	2350
	A62	3.757	2.178	3.702	2345	
	A63	3.846	2.247	3.755	2348	

Tabla 47: Media, Variación, desviación estándar para densidad en seco. (Propia)

Porcentajes	Densidad en seco Promedio	Varianza	Desviación Estándar (kg/m ³)
	(kg/m ³)		
Patrón sp	2230	9.21	3.03
n0=0% cp	2270	19.45	4.41
n1=1% cp	2290	63.69	7.98
n2=2% cp	2320	9.82	3.13
n3=3% cp	2360	27.84	5.28
n4=4% cp	2370	2.84	1.68
n5=5% cp	2360	22.04	4.69
n6=6% cp	2350	6.76	2.60

4.5. Costos de Producción del óxido de calcio

Para la estimación de costos de producción de un 1 kg de óxido de calcio, se hizo un análisis de precios unitarios, considerando cada uno de los procesos que debe pasar la materia prima, desde la recolección hasta la calcinación

4.5.1. Recolección

Tabla 48: Análisis de costos para la recolección. (Propia)

Rendimiento	500	Kg/día	Costo unitario por kg		1.92
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
Oficial	hh	1	0.016	16.5	0.26
Peón	hh	1	0.016	14.84	0.24
					0.50
Materiales					
Hueso ovino	kg		1	1.00	1.00
					1.00
Herramientas y maquinas					
Herramientas manuales	%MO		3.000	0.50	0.02
Camioneta	hm	1	0.016	25.00	0.42
					0.42

4.5.2. Pre-Calcinción

Tabla 49: Análisis de costos para la calcinción. (Propia)

Rendimiento		2000 Kg/día		Costo unitario por kg		0.84
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
Oficial	hh	1	0.004	16.5	0.06	
Peón	hh	1	0.004	14.84	0.06	
					0.12	
Materiales						
Combustible- Gasolina	gal		0.066	10.71	0.71	
					0.71	
Herramientas y maquinas						
Herramientas manuales	%MO		3.000	0.12	0.01	
					0.01	

4.5.3. Molienda

Tabla 50: Análisis de costos para molienda. (Propia)

Rendimiento		500 Kg/día		Costo unitario por kg		4.95
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
Oficial	hh	1	0.016	16.5	0.26	
Peón	hh	1	0.016	14.84	0.24	
					0.50	
Materiales						
Combustible- Gasolina	gal		0.264	10.71	2.82	
					2.82	
Herramientas y maquinas						
Herramientas manuales	%MO		3.000	0.50	0.02	
Molino	hm	2	0.032	50.00	1.60	
					1.63	

4.5.4. Tamizado

Tabla 51: Análisis de costos para tamizado. (Propia)

Rendimiento		500 Kg/día		Costo unitario por kg		2.48
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
Oficial	hh	2	0.032	16.5	0.53	
Peón	hh	4	0.064	14.84	0.95	
					1.48	
Herramientas y maquinas						
Herramientas manuales	%MO		3.000	1.48	0.04	
Tamiz N° 200	hm	4	0.064	15.00	0.96	
					1.00	

4.5.5. Calcinación

Tabla 52: Análisis de costos para sinterización. (Propia)

Rendimiento		500 Kg/día		Costo unitario por kg		4.36
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
Oficial	hh	1	0.016	16.5	0.26	
Peón	hh	1	0.016	14.84	0.24	
					0.50	
Herramientas y maquinas						
Herramientas manuales	%MO		3.000	0.50	0.02	
Horno Eléctrico	hm	2	0.032	120.00	3.84	
					3.86	

Luego de haber determinado el análisis unitario para cada proceso, se sumó los costos, obteniendo un costo directo de s/. 14.55 por kilogramo. Adicionalmente se le consideró sumar a este costo, gastos generales, utilidad y el impuesto general a las ventas; obteniendo como costo total de s/: 19.75 por kilogramo de producción de óxido de calcio (Tabla 53).

PROCESO	COSTO
Recolección	1.92
Calcinación	0.84
Molienda	4.95
Tamizado	2.48
Sinterización	4.36
COSTO DIRECTO	14.55
GASTOS GENERALES 10% C.D.	1.46
UTILIDAD 5% C.D.	0.73
SUB TOTAL	16.74
IGV 18%	3.01
COSTO TOTAL	19.75

Tabla 53: Costo por kilogramo de óxido de calcio. (Propia)

4.6. Evaluación económica de las alternativas

Para la evaluación económica se comparará el costo de producir un m³ de concreto adicionado óxido de calcio extraído de ganado bovino con el costo de producir un m³ de concreto adicionado microsílíce (Rheomac SF100). En la Tabla 54 Se observa la comparación de costos.

Tabla 54: Costo por m³ de concreto adicionado óxido de calcio y Microsílíce Rheomac SF100. (Propia)

Elemento	Peso por m ³ (kg)	Und.	Cantidad	Óxido de calcio extraído de ganado bovino		Microsílíce Rheomac SF100	
				Precio (S/.)	Costo por m ³	Precio (S/.)	Costo por m ³
Agua	240.926	m ³	0.24	S/. 5.00	S/. 1.20	S/. 5.00	S/. 1.20
Cemento tipo I	463.52	bls	11.04	S/. 24.00	S/. 264.96	S/. 24.00	S/. 264.96
Arena	730.54	m ³	0.39	S/. 49.90	S/. 19.46	S/. 49.90	S/. 19.46
Piedra de 1/2"	928.35	m ³	0.58	S/. 60.90	S/. 35.32	S/. 60.90	S/. 35.32
Microsílíce	40.00	bls (25 kg)	1.6	S/. 24.92	S/. 39.50	S/. 97.00	S/. 194.00
Plastificante Sika ViscoCrete-3330	0.92704	Galón	0.232	S/. 37.00	S/. 8.58	S/. 37.00	S/. 8.58
				Total	S/. 369.02	Total	S/. 523.52

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN

El propósito de la investigación es determinar la influencia que tiene la adición de óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado bovino sobre las propiedades en estado fresco-endurecido del concreto. Para ello, fue necesario realizar primero ensayos físicos, químicos y mecánicos de la materia prima en este caso los agregados (arena gruesa y piedra de 1/2"), agua y las cenizas de hueso de bovino. Luego se procedió a la elaboración del diseño de mezcla $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ de acuerdo al método de ACI-211, y se conformaron mezclas para evaluar sus propiedades en estado fresco (asentamiento y tiempo de fraguado) y especímenes cilíndricos de $\varnothing 10 \text{ cm}$ por 20 cm de altura para evaluar sus propiedades en estado endurecido (resistencia a compresión, densidad, absorción y porosidad).

Cada uno de los ensayos realizados, fue ejecutado y evaluado de acuerdo a los lineamientos que establecen las normas técnicas peruanas (NTP) y las del ministerio de transporte y telecomunicaciones (MTC), las cuales están basadas en las normas de la sociedad americana de prueba de materiales (ASTM).

5.1. Caracterización de la materia prima

5.1.1. Agregado Fino

En la tabla 55 se observa las principales propiedades físicas del agregado fino, las cuales son de gran relevancia para la elaboración del diseño de mezcla. Los resultados obtenidos de la caracterización fueron comparados con los rangos que establecen las normativas y así verificar si cumple con la calidad para ser considerado como agregado.

Tabla 55: Características del agregado fino. (Propia)

Caracterización del Agregado Fino	
Ensayo	Resultado
Módulo de Finura	2.5
Contenido de humedad (%)	0.5
Peso unitario suelto (kg/m^3)	1 700
Peso unitario compactado (kg/m^3)	1 890
Peso específico (g/cm^3)	2.8
Absorción (%)	1.4

La granulometría implica identificar los diferentes tamaños de partículas que existen en los agregados, ya que si estas presentan mismos tamaños, la mezcla de concreto al ser elaborada contendrá gran cantidad de vacíos en su interior, afectando directamente su trabajabilidad.

Por ello es necesario que los agregados cumplan con las especificaciones señaladas por la norma como una buena distribución de tamaños ya que esta propiedad afecta la segregación y exudación de la mezcla, que se verá reflejado en la resistencia, estabilidad de volumen y durabilidad.

La curva granulométrica del agregado fino (arena gruesa) nos muestra una buena distribución de sus partículas con una granulometría continua, es decir, presenta fracciones de todos los tamaños comprendidos entre el más pequeño y el mayor del mismo. En la Figura 12 se observa que la curva se encuentra dentro del huso estipulado por la norma NTP 400.037.

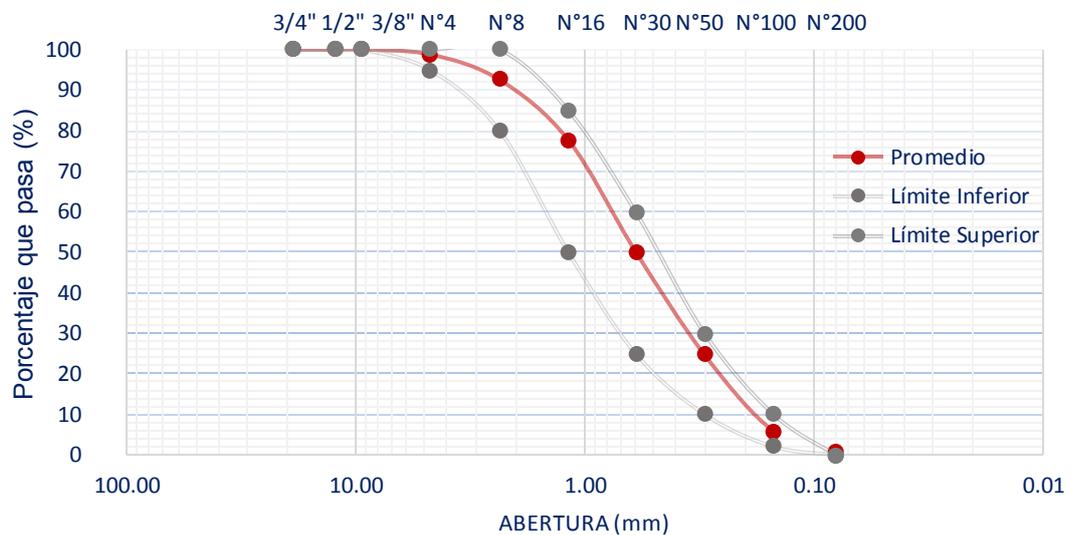


Figura N° 12: Curva granulométrica del agregado fino. (Propia)

El módulo de finura representa el tamaño medio del árido, mientras más pequeño sea, más fino es el agregado. Un módulo de finura muy pequeño significa una mayor área superficial y la adición de una mayor cantidad de agua en una mezcla de concreto, es por ello que la norma NTP 400.012 recomienda que se encuentre comprendido entre 2.3 - 3.1. Para este agregado el módulo fue de 2.5, ubicándose dentro de lo establecido y según la clasificación de arenas es una arena gruesa (Módulo de finura entre 2.5 – 3.5).

Los áridos contienen materiales finos (menor a 75 μ m) como limo y arcillas, que afectan la adherencia entre el árido y la pasta de cemento, perjudicando así al fraguado y la adquisición de resistencia mecánica. La norma NTP 400.018 establece como límite máximo 3% de finos que pasen la malla 200; siendo para este agregado fino 1.35%.

El contacto del árido con el medio ambiente le proporciona cierto grado de humedad al árido, el cual influye en la relación agua/cemento. Si bien es cierto la norma NTP 339.185 no establece un límite para el contenido de humedad en los agregados, indica que estos valores deben ser menores a los de la absorción.

La absorción es la propiedad que más influye en la consistencia del concreto. Cordón Mena y Cortez Cortez (2010) señalan que el rango de absorción del agregado fino se debe encontrar entre 0.2%- 5.0%. En la tabla 55 podemos observar que el porcentaje de humedad del agregado fino es 0.5%, un valor menor a 1.4% correspondiente a su absorción; de acuerdo a ello podemos decir que se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

Obtener los datos de humedad y absorción fue de suma importancia para definir la cantidad exacta de agua que se debe añadir al diseño de mezcla y con ello no alterar la relación agua/cemento.

El peso específico sirve como indicador de calidad, teniendo en cuenta que a valores más elevados disminuye la absorción y porosidad, dando como resultado materiales con mejor comportamiento. El peso específico para este agregado fino fue de 2.8 g/cm^3 , dicho valor se encuentra en el rango de $2.4 - 2.9 \text{ g/cm}^3$ como la mayoría de agregados naturales (Polanco Rodríguez, 2012). El peso unitario suelto y compactado nos permite convertir los pesos en volúmenes y viceversa. El primero trasciende más cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados; mientras que el segundo para el diseño de mezclas. El peso unitario suelto del agregado fue de 1700 kg/m^3 y su peso unitario compactado fue de 1890 kg/m^3 . El peso volumétrico aproximado de un agregado fino usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente $1,300 \text{ kg/m}^3$ a $1,800 \text{ kg/m}^3$ (Rivera, 2010).

5.1.2. Agregado Grueso

En la tabla 56 se observa las principales propiedades físicas del agregado grueso, las cuales son de gran relevancia para la elaboración del diseño de mezcla. Los resultados obtenidos de la caracterización fueron comparados con los rangos que establecen las normativas y así verificar si cumple con la calidad para ser considerado como agregado.

Tabla 56: Características del agregado grueso. (Propia)

Caracterización del Agregado Grueso	
Ensayo	Resultado
Tamaño Máximo	3/4"
Tamaño Máximo Nominal	1/2"
Módulo de finura	6.44
Huso Granulométrico	7
Contenido de humedad (%)	0.2
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1400
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1600
Peso específico (g/cm ³)	2.6
Absorción (%)	2.2
Abrasión (%)	19

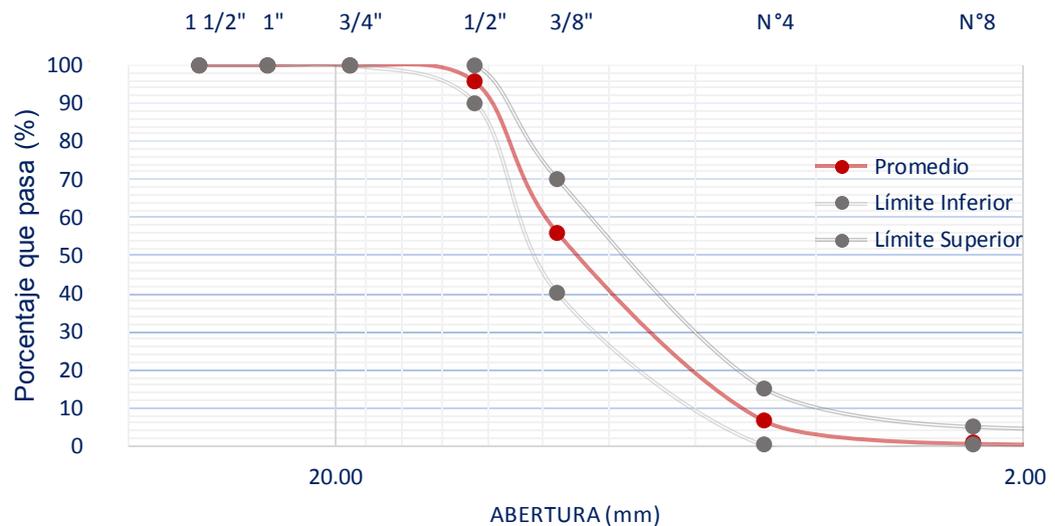


Figura N° 13: Curva granulométrica del agregado grueso. (Propia)

La curva granulométrica del agregado grueso nos muestra una buena distribución de sus partículas, en la Figura 13 se observa que la curva se encuentra dentro del huso 7 estipulado por la norma NTP 400.037, la que establece que para agregados gruesos de tamaños de 1/2" - N°4, el porcentaje que pasa la malla 3/4" debe ser el 100%, la malla 1/2" entre 90 – 100%, la malla 3/8" entre 40 – 70%, la malla N°4 entre 0 – 15% y la malla N°8 entre 0 – 5%.

El tamaño, la forma y textura del agregado grueso tiene efectos importantes en la compactación y trabajabilidad del concreto, con lo que podemos decir que a menor tamaño del agregado grueso hay un mejor acomodamiento de las partículas que permite minimizar la cantidad de vacíos en el concreto y por ende aumentarla resistencia a compresión. Es por ello que se utilizó como agregado grueso gravilla de 1/2". El tamaño máximo del agregado grueso es de 3/4" y su tamaño máximo nominal es de 1/2", la cual cumple con el tamaño especificado al momento de la adquisición del material. Asimismo presenta un % de material retenido en la malla de 1/2", un 39% en la malla 3/8" y un porcentaje mayoritario de 48% en la malla N°4.

Este agregado grueso contiene 0.5% de materiales finos (menor a 75 μm), el cual cumple con el límite establecido de 1% de finos que pasen la malla 200 según la norma NTP 400.018.

Para evaluar durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto, se realizó el ensayo mecánico de abrasión al agregado grueso, obteniéndose 19% de desgaste, el cual no sobrepasa el 50% que especifica la norma NTP 400.037. Como se encuentra en el rango del 15 y 20% quiere decir que es un árido muy bueno, piedra dura, resistente al impacto y de alto peso específico.

El contenido de humedad del agregado grueso fue de 0.2% y su porcentaje de absorción de 2.2%, encontrándose este último valor en el rango de aceptación de 0.2%- 3.0% como lo señalan Cordón Mena y Cortez Cortez (2010). Estos valores indican que es un agregado seco con baja cantidad de vacíos y poros en su microestructura interna, lo que no permitirá la acumulación de agua.

El peso específico para este agregado grueso fue de 2.6 g/cm^3 , dicho valor se encuentra en el rango de 2.4 – 2.9 g/cm^3 como la mayoría de agregados naturales (Polanco Rodríguez, 2012).

El peso unitario suelto del agregado fue de 1400 kg/m^3 y su peso unitario compactado fue de 1600 kg/m^3 . El peso volumétrico aproximado de un agregado grueso usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1,200 kg/m^3 a 1,760 kg/m^3 (Polanco Rodríguez, 2012).

5.1.3. Cemento

El cemento Tipo I suministrado por Cementos Pacasmayo, es un cemento de uso general que no presenta ningún tipo de adiciones. En la tabla 57 se presenta las principales propiedades físicas del cemento Tipo I.

Tabla 57: Características físicas del cemento. (Cementos Pacasmayo, 2017)

Propiedades Físicas	Unidades	CPSAA	Requisito NTP 334.009/ AST C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Superficie Especifica	cm ² /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.08	No especifica
Resistencia a compresión	Kg/cm ²		
3 días		271	Mínimo 122
7 días		350	Mínimo 194
28 días		406	Mínimo 286
Tiempo de Fraguado Vicat	mim		
Fraguado Inicial		138	Mínimo 45
Fraguado Final		261	Máximo 375

La finura de las partículas del cemento es una propiedad importante, puesto que la hidratación del cemento comienza en la superficie de las partículas de cemento, cuanto más finas sean éstas, mayor será el área superficial y más rápido se producirá la hidratación del cemento. Como se muestra en la tabla 57 la superficie específica del cemento tipo I es mayor a lo establecido por la norma, por tanto se tendrá como resultado un desarrollo más rápido de la resistencia y un calor de hidratación mayor. Conocer la densidad del cemento nos permite calcular su proporción al momento de elaborar el diseño de mezcla.

En cuanto a la resistencia de este cemento es mayor a lo establecido, ocurriendo su aumento a edades tempranas, es decir presenta un contenido más alto de C₃S y C₃A y más elevada es la finura de molido.

El cemento a emplearse de acuerdo a su uso general podía ser cemento Tipo I o cemento Tipo ICo. Se decidió utilizar cemento portland Pacasmayo Tipo I porque presenta una resistencia alta a 28 días en comparación al cemento Tipo ICo que su resistencia es media (368Kg/cm²).

El segundo motivo de la elección es porque no contiene alguna adición durante su proceso de fabricación, mientras que el Tipo ICo contiene adiciones procedentes de materiales calizos, hasta un 30% de peso; y como esta investigación busca analizar el comportamiento de la adición de óxido de calcio extraído de un material ecológico al concreto es conveniente realizarlo sobre un cemento sin adiciones.

5.1.4. Súperplastificante

La adición de óxido de calcio demanda mayor cantidad de agua de amasado, es por ello que se utilizó súperplastificante Sika ViscoCrete-3330 en dosificación de 0.2% del peso del cemento, para mantener constante la relación agua/cemento y poder realizar estudios con mayor cantidad de adición. Se decidió utilizar un súperplastificante porque le permite reducir hasta un 30% de la cantidad de agua y trabajar con mezclas secas de relación agua/material cementante de 0.30 a 0.45 mientras que un plastificante solo brinda mayor trabajabilidad y facilidad de compactación a concretos semi secos.

El súperplastificante Sika ViscoCrete-3330, distribuido por la empresa Sika Aditivos, es un aditivo de alto rango y de tercera generación.

Las principales consideraciones de uso del aditivo se detallan en la tabla 58.

Tabla 58: Datos básicos de Sika ViscoCrete-3330. (Sika, 2017)

Condiciones de Almacenamiento	1 año a partir de la fecha de producción, en su envase original y sin abrir, protegido de la luz directa del sol y de las heladas, a temperaturas entre 5°C y 35°C
Densidad	1.07 kg/L+- 0.01
Consumo/Dosis	Para concretos plásticos suaves: 0.4% - 1% del peso del cemento
	Para concretos fluidos y autocompactantes: 1% - 2% del peso del cemento

Este súperplastificante actúa por diferentes mecanismos, provocando una reducción de la tensión superficial del agua de amasado y cargando electrostáticamente a las partículas del cemento con lo cual se produce una repulsión entre ellas. Su principal efecto es defloculante, provocando una dispersión entre las partículas de cemento, y evita que se aglomeren las partículas finas, manteniéndolas en suspensión y modificando el comportamiento reológico de las pastas. Lo que consigue en realidad es que las pastas adquieran un estado de viscosidad adecuada con la menor cantidad de agua.

5.1.5. Óxido de calcio

El hueso es un órgano firme, duro, resistente y anisotrópico que forma parte del esqueleto de los vertebrados. La estructura del hueso a nivel macroscópico está comprendida por el hueso compacto o cortical y el hueso esponjoso o trabecular (Figura 14). El primero se ubica en la periferia del hueso, presentando tejidos

altamente organizados con una porosidad entre el 5% y 30%; el segundo se encuentra ubicado dentro de la cubierta del hueso compacto, formado por trabéculas óseas organizadas como una estructura de malla con una porosidad entre el 30% y 90%. La importancia de estas trabéculas se debe a su comportamiento dinámico para distribuir, transmitir y absorber las cargas. (Leconca, 2009)

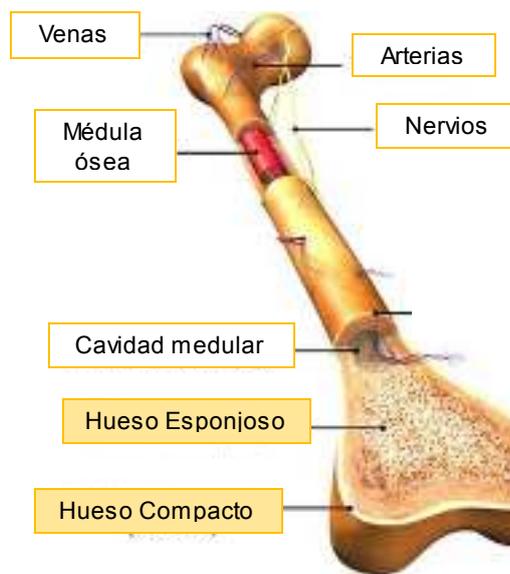


Figura N° 14: Estructura Macroscópica del hueso. (Bioenciclopedia, 2017)

En cuanto a su composición el 60% del hueso está compuesto principalmente por hidroxapatita (calcio y fósforo), magnesio, sodio, potasio y cloro; compuestos que le darán la dureza y rigidez, El 30% son compuestos inorgánicos (90% - 95% fibras colágenas y 5% -10% células óseas), que proporcionarían elasticidad y flexibilidad. Finalmente el 10% de su composición es agua. (Leconca, 2009)

La calcinación, es la descomposición de un compuesto, en este caso del carbonato de calcio (CaCO_3) presente en los huesos de ganado bovino mediante el calor suministrado por un agente externo, para provocar la descomposición térmica o un cambio de estado en su composición física o química.

El objetivo de la calcinación fue eliminar el agua presente como humedad absorbida y eliminar el dióxido de carbono, para obtener el óxido de calcio. Por

ello antes de calcinar el hueso bovino, se realizó un análisis termogravimétrico (TGA) y un análisis térmico diferencial (DTA), para determinar la temperatura de calcinación del carbonato de calcio.

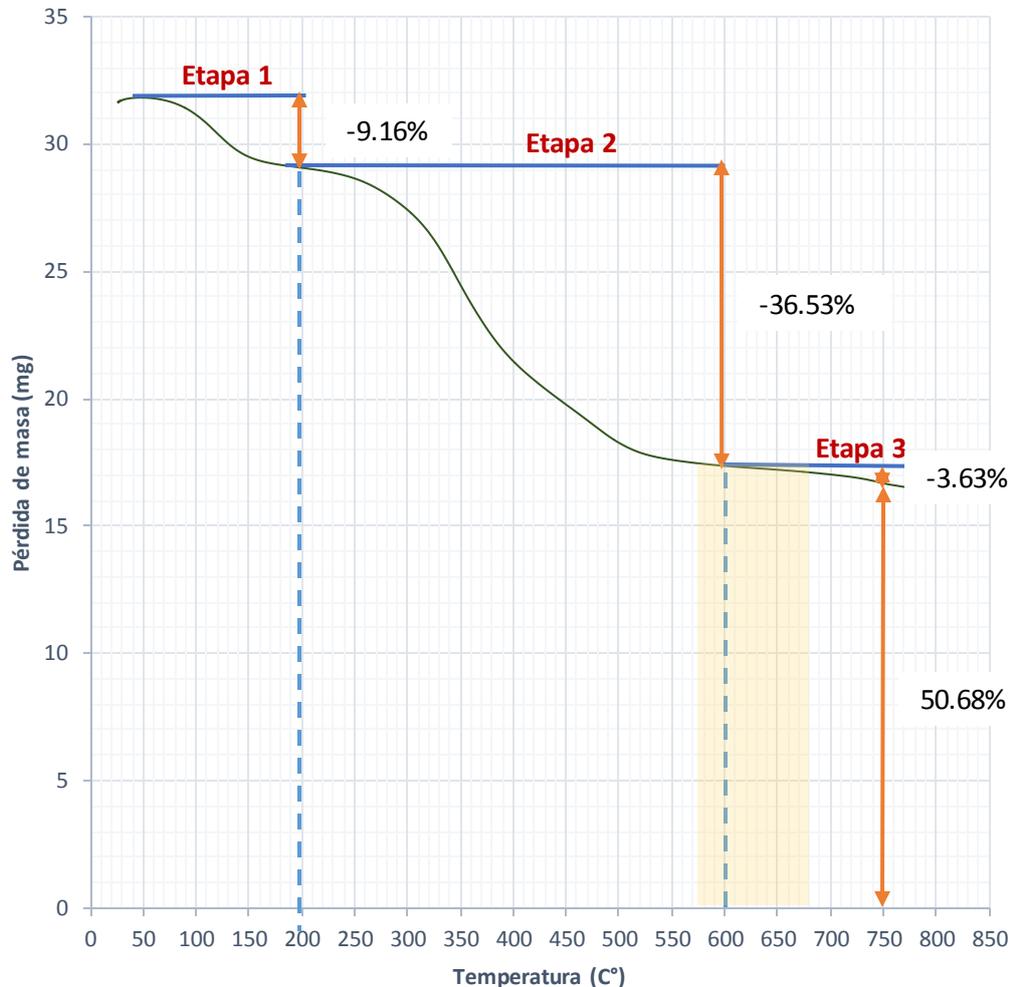


Figura N° 15: Análisis termogravimétrico TGA. (Propia)

El análisis termogravimétrico (TGA), muestra la pérdida de masa de una muestra, a medida que aumenta la temperatura. En la Figura 15 se muestra las variaciones de masa en función de la temperatura (termograma). El proceso se inició colocando 32 mg de muestra, el cual conforme aumenta la temperatura va disminuyendo, llegando así a quedar casi el 50% de su masa a la temperatura de 750°C, la otra mitad se transformó en CO₂ e impurezas. Este comportamiento es atribuido al proceso de sinterización por flujo de calor, que ocasiona la disminución de la porosidad abierta del material.

Se observan 3 procesos de pérdida de peso. La pérdida inicial está relacionada con la eliminación de humedad (etapa 1), en el segundo paso, hay una reducción

de masa que está asociado con la descomposición de sustancias orgánicas, es decir la combustión de los triglicéridos almacenados en los adipocitos de la médula ósea amarilla (etapa 2) y por último se observa una menor pérdida de peso atribuida a la descomposición de óxidos (etapa 3).

A la temperatura de 580°C ocurre la calcinación de la muestra (obtención de ceniza), así como la estabilización de la misma hasta una temperatura aproximada de 680° C, pasado esta temperatura la pérdida de masa es menor hasta la temperatura de 820°C, para luego enfriarse.

Para contrastar el análisis termogravimétrico (TGA), se realizó un análisis térmico diferencial (DTA), siendo este ensayo útil para detectar el cambio térmico que se produce en la muestra cuando en la misma aparece un cambio físico o químico.

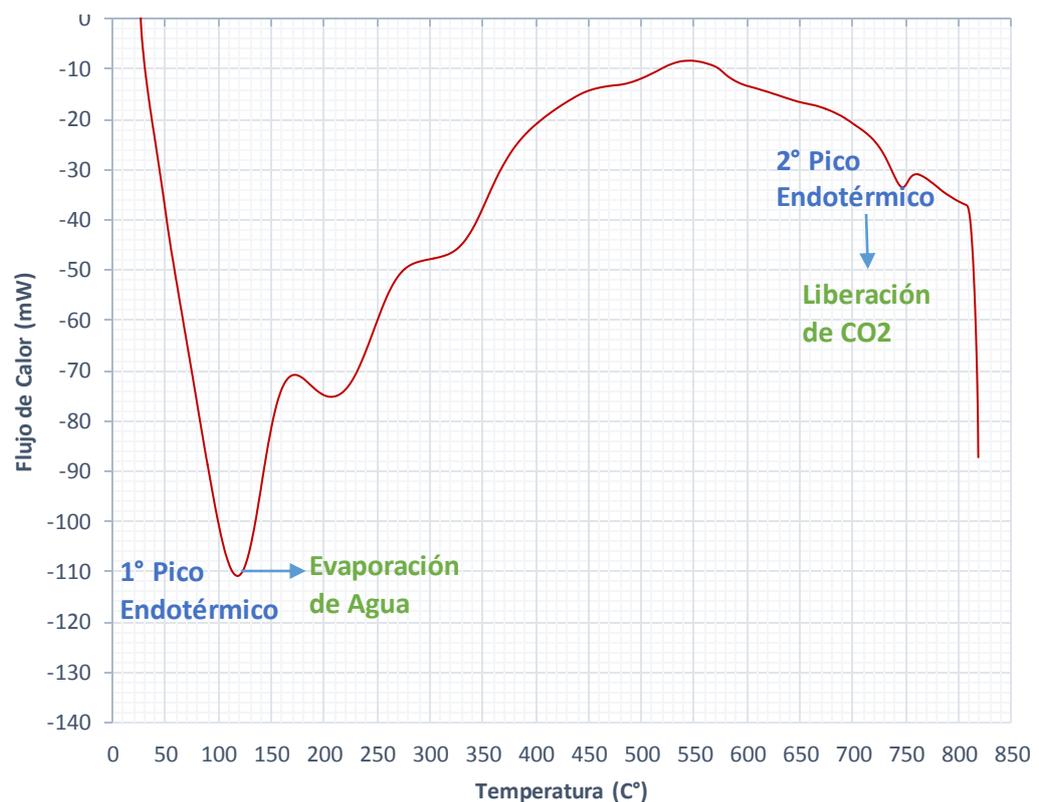
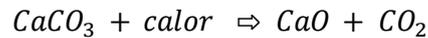


Figura N° 16: Análisis calorimetro diferencial de barrido. (Propia)

En la figura 16 se observa la existencia de picos, los cuales significan un cambio de estado de la muestra y se trata de reacciones endotérmicas, por absorber calor.

A una temperatura de aproximadamente 130°C se observa el primer pico, debido a la evaporación del agua presente en la muestra.

A la temperatura de 740° C se presenta el segundo pico producto de la transformación del carbonato de calcio (CaCO₃) en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO₂), siendo este último liberado. Para este caso la reacción está dada por:



De los resultados obtenidos podemos decir que la obtención de ceniza es a partir de una temperatura superior a 580°C, es por ello que se realizó la pre-calcinación del hueso a una temperatura de 600°C. En cuanto al ensayo DTA nos indica que la transformación del carbonato de calcio sucede la temperatura de 740°C, por lo que luego de obtener las cenizas y ser molidas al tamaño de 0.075 mm, se decidió calcinar la muestra a una temperatura de 750°C.

En cuanto a la finura de las cenizas se determinó que fuera de 0.075 mm (pasar malla N°200), puesto que la hidratación comienza en la superficie de las partículas de materiales cementantes, cuanto más finas sean estas, mayor será el área superficial y más rápido se producirá la hidratación. Por tanto la utilización de un material más fino tiene como resultado el desarrollo más rápido de la resistencia y un calor de hidratación mayor. Incrementar su finura puede elevar los costos de producción.

Cabe mencionar que para la producción del cemento portland se tiene que llevar a una temperatura entre 1350°C y 1450°C, mientras que para obtener el óxido de calcio de los residuos bovinos se necesitaría una menor temperatura (740°C). El porcentaje de óxido de calcio es aproximadamente el 50%, obtenido producto de la calcinación, es decir, de un 1 Kg de residuos de ganado bovino se obtendrá 500 gr. de CaO.

Para conocer la composición química y estructura interna de las cenizas de residuo bovino, se obtuvieron patrones de difracción de rayos X. Piña Barba, M.; Murguía Acevedo, N. y Palma Cortés, R. (2006) señalan que al aumentar la temperatura, la matriz ósea se quema desbaratándose, quedando sólo polvo de Hidroxiapatita HA y carbonato, en contraste con ello, en la figura 17 se visualiza los dos principales componentes del hueso Hidroxiapatita Ca₅(PO₄)₃(OH) y el carbonato de calcio CaCO₃. La Hidroxiapatita es uno de los minerales provenientes de los diversos compuestos del calcio que promueven la regeneración de los tejidos y formación de enlaces fuertes entre las partículas, que generaran una mezcla consistente con buena rigidez y resistencia. La

resistencia es la capacidad para soportar cargas, mientras que en la rigidez es la capacidad para oponerse a las deformaciones.

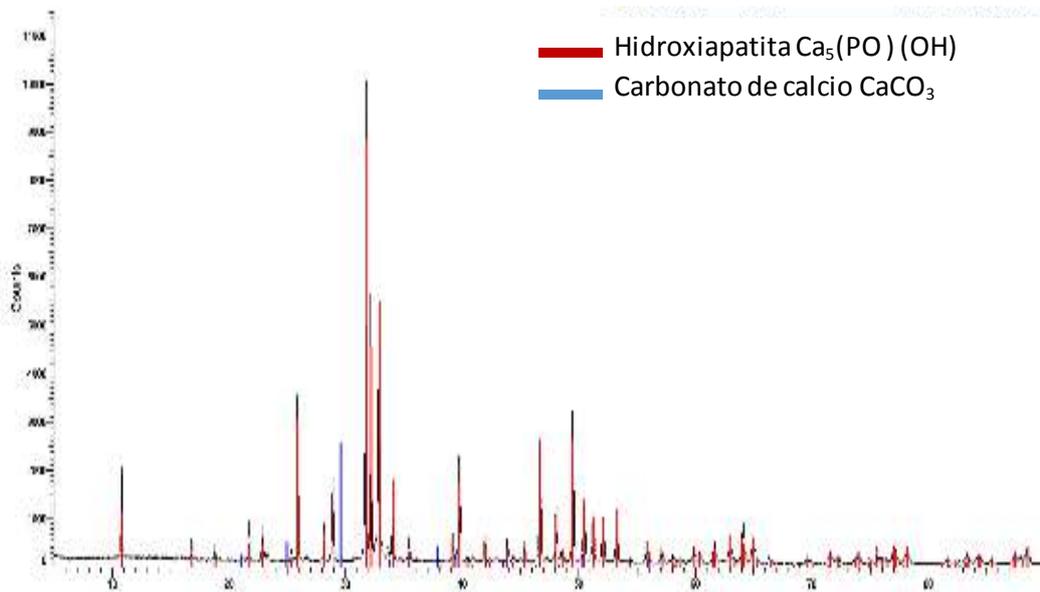


Figura N° 17: Análisis de difracción de rayos X. (Propia)

Con estos resultados podemos afirmar que las cenizas de residuo bovino es una ceniza volante de origen calcáreo con propiedades hidráulicas o puzolánicas, ya que mejorará las propiedades del concreto en cuanto a consistencia y resistencia, ya que disminuirá la menor cantidad poros, aumentando su densidad y disminuyendo su absorción.

El óxido de calcio (CaO) obtenido, al combinarse con el agua durante el proceso de hidratación del cemento, genera la cal hidratada, que debido a su fraguado con el agua se denomina cal hidráulica. En la figura 18, puede verse los límites de la composición cemento Portland y como se aproxima la cal hidráulica a los componentes del cemento. El cemento está constituido principalmente por CaO (58-67%), SiO₂ (16-26%), Al₂O₃ (4-8%) y Fe₂O₃ (2-5%), mientras que la cal hidráulica por CaO (70-80%), SiO₂ (10-20%), Al₂O₃ (1-2%) y Fe₂O₃ (2-3%). Por ello la ceniza residuo bovino, presenta apariencia y propiedades físicas y químicas similares al cemento.

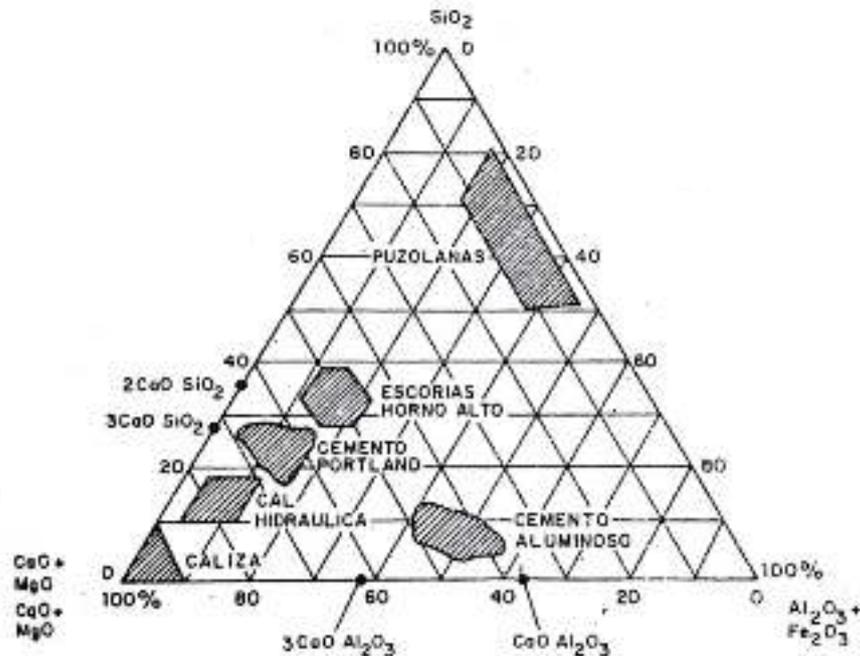


Figura N° 18: Diagrama Ternario C.A.S. (Fernández Cánovas M.; 2011)

5.1.6. Agua

Para que un agua sea apta para un amasado y curado del concreto debe estar limpia y encontrarse libre de impurezas por debajo de determinados límites a fin de que no se produzcan alteraciones en la hidratación del cemento, retrasos en sus fraguado y endurecimiento, reducciones en sus resistencias, ni peligros en su durabilidad.

Para evaluar su calidad se realizó ensayos químicos según la norma NTP 339.088, obteniendo valores de 800 p.p.m para la salinidad, 1421 uS/cm para la conductividad y 961 p.p.m en sólidos en suspensión; encontrándose estos valores dentro de los límites permisibles

5.2. Diseño de Mezcla

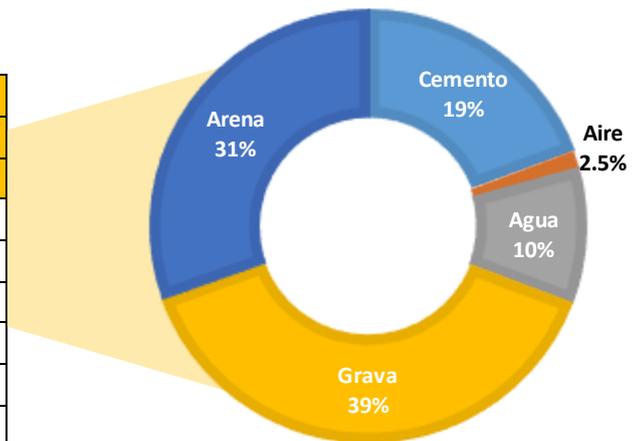
El concreto está compuesto por cemento, agua, agregados, aire, aditivos y eventualmente adiciones. El cemento ocupa entre el 7% - 15% de su volumen y brinda propiedades de adherencia y cohesión. Los agregados ocupan entre el 59% - 76% y son los encargados de controlar los cambios volumétricos de la pasta de cemento. Entonces, para la elaboración del diseño de mezcla se realizó la caracterización de los agregados previamente y luego mediante el método ACI-211 se diseñó. Este método busca alcanzar una resistencia a compresión de acuerdo a la finalidad de uso y a la relación agua/cemento.

En esta investigación, el diseño será aplicado para el vaciado de vigas y columnas, por lo que debe ser de consistencia media (asentamiento entre 3" y 4"), considerándose así una relación inicial a/c de 0.46, que por correcciones de humedad y absorción de los agregados se convirtió en 0.52. El tamaño máximo nominal del agregado grueso fue de 1/2", esta elección se basa en la afirmación de Fernández Cánovas, M. (2011), quien recomienda utilizar un tamaño máximo nominal de árido comprendido entre 10mm y 12.5mm para concretos adicionados con microsilíce, puesto que los áridos más gruesos disminuyen la adherencia con la pasta de cemento. El cemento empleado fue cemento portland Pacasmayo Tipo I sin propiedades especiales ni adiciones.

Al adicionar el óxido de calcio, debido a su gran finura demanda mayor cantidad de agua de amasado, es por ello que se utilizó súperplastificante Sika ViscoCrete-3330 en dosificación de 0.2% del peso del cemento, para mantener constante la relación a/c y no perder la trabajabilidad.

En la figura 19 se tiene el diseño de mezcla patrón para un m³, al cual se le fue adicionando óxido de calcio en porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% del peso del cemento. Asimismo se muestra las proporciones en baldes, siendo éstas utilizadas para la elaboración de mezclas en obra.

Diseño de mezcla $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$		
Relación a/c= 0.52		
Insumo	Cantidad (kg)	Cantidad (%)
Cemento	463.52	19.35
Aire	32.50	2.5
Agua	240.93	10.06
Grava	928.35	38.75
Arena	730.54	30.49
Total	2363.34	100.00



Proporciones en campo para una bolsa de cemento



Insumo	Cantidad	Und.
Agua	1	baldes
Arena	3	baldes
Piedra 1/2"	4 1/4	baldes
Plastificante	700	ml

Figura N° 19: Proporciones de diseño de mezcla para un 1m³. (Propia)

5.3. Propiedades en Estado Fresco

5.3.1. Trabajabilidad

Cuando se mezcla el cemento portland con el agua, da lugar a reacciones químicas exotérmicas, que liberan calor. Este proceso se denomina la hidratación del cemento portland, donde los silicatos de calcio se combinan con el agua y generan tanto silicatos de calcio hidratados C-S-H como hidróxido de calcio.

Durante el proceso de calcinación, el carbonato de calcio extraído de los residuos bovinos generan óxido de calcio (CaO), compuesto que durante el proceso de hidratación del cemento, al combinarse con el agua, se convierte esta cal en hidróxido de calcio (material cementoso). El hidróxido de calcio como se había mencionado es un producto de la hidratación de los silicatos y que llega a conformar hasta el 15% del peso del cemento.

Por ende esta adición brinda al concreto mayores resistencias mecánicas, aumento en la adherencia de la pasta a los áridos, resistencia al ataque de sulfatos y aguas ácidas, disminución de la permeabilidad al cerrar los conductos capilares que posee y aumenta la cohesión de la mezcla, reduciendo la tendencia a la segregación y exudación.

En el proceso de hidratación un factor muy importante es la relación agua-materiales cementosos, que influye directamente sobre las propiedades del concreto; es decir si existe un exceso de agua provoca la aparición de huecos capilares, incrementando la porosidad y permeabilidad y por ende reduciendo la resistencia.

La relación agua cemento también influye sobre la trabajabilidad del concreto, a mayor relación a/c el asentamiento es mayor, debido a que las partículas se encuentran más dispersas.

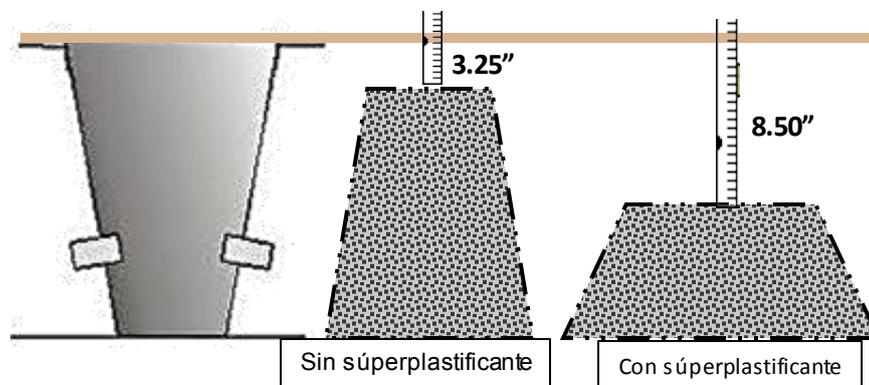


Figura N° 20: Asentamiento de mezclas patrónes. (Propia)

El diseño de mezcla elaborado fue considerando un asentamiento de 3" a 4", en la figura 20 se observa que el asentamiento de la muestra patrón sin ningún tipo de adición fue de 3 1/4" (8.26 cm) con consistencia media, dicho valor se encuentra en el rango del diseño. Por otro lado la mezcla patrón sin adición de óxido de calcio pero si de súperplastificante al 0.2% del peso del cemento, se observa que tiene un asentamiento de 8 1/2" (21.60 cm) cambiando su consistencia a húmeda y con trabajabilidad alta.

La evaluación de la trabajabilidad del concreto adicionado con diferentes porcentajes de óxido de calcio, se realizó bajo la norma NTP 339.035, manteniendo constante la relación agua cemento, resultado que se obtuvo con la ayuda del súperplastificante.

En la figura 21 se puede apreciar el asentamiento para cada muestra adicionada con óxido de calcio. El asentamiento tiende a disminuir y a ser menos trabajable conforme se le adiciona mayor porcentaje de óxido de calcio, esto se debe a la finura de este material que genera mayor área superficial y acelera el proceso de hidratación consumiendo una mayor cantidad de agua. Existe una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de adición de óxido de calcio y el asentamiento.

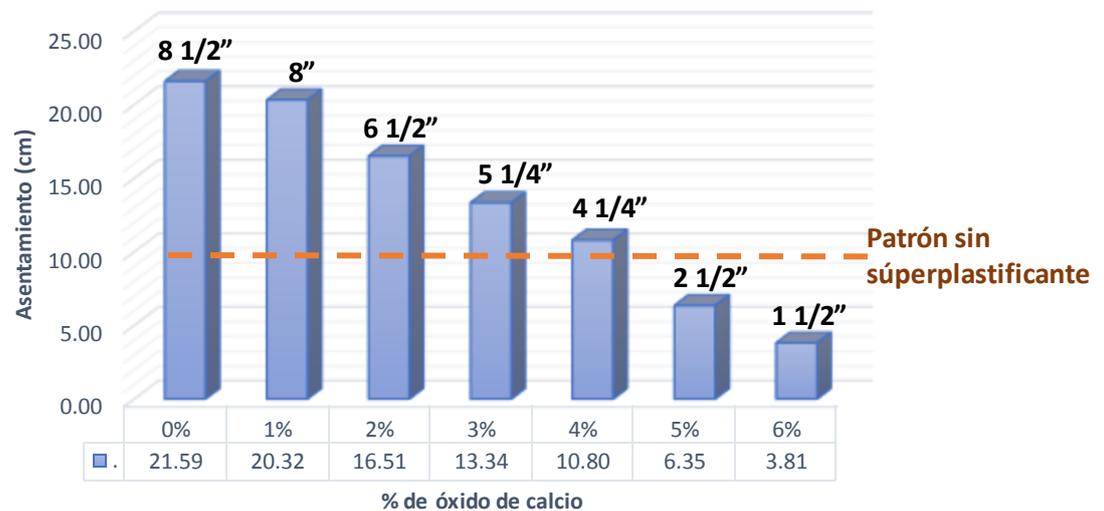


Figura N° 21: Asentamiento de mezclas adicionadas con óxido de calcio. (Propia)

El súperplastificante brinda trabajabilidad al concreto sin la necesidad de añadir mayor cantidad de agua a la mezcla. Al 4% de adición de óxido de calcio presenta una consistencia plástica y una trabajabilidad media, que es ideal para el llenado de pavimentos, columnas y vigas. Entre el 1% y 3% de adición, su consistencia es alta plástica, siendo estos ideales para revestimiento de túneles.

Finalmente al 5% y 6% la consistencia es seca, y para el vaciado del concreto es necesario el uso de máquinas vibradoras debido a su trabajabilidad pequeña.

5.3.2. Tiempo de Fraguado

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia la hidratación del cemento, cuya reacción química es exotérmica, es decir, libera calor.

Esta reacción da origen a los silicatos hidratados, los que generan el endurecimiento del concreto, el aglutinamiento de los agregados, y la ganancia de resistencia.

Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia es rígida; este estado se denomina fraguado final.

En la figura 22 se observa como la mezcla de concreto pasa de estado plástico a rígido a medida que la resistencia a la penetración aumenta.

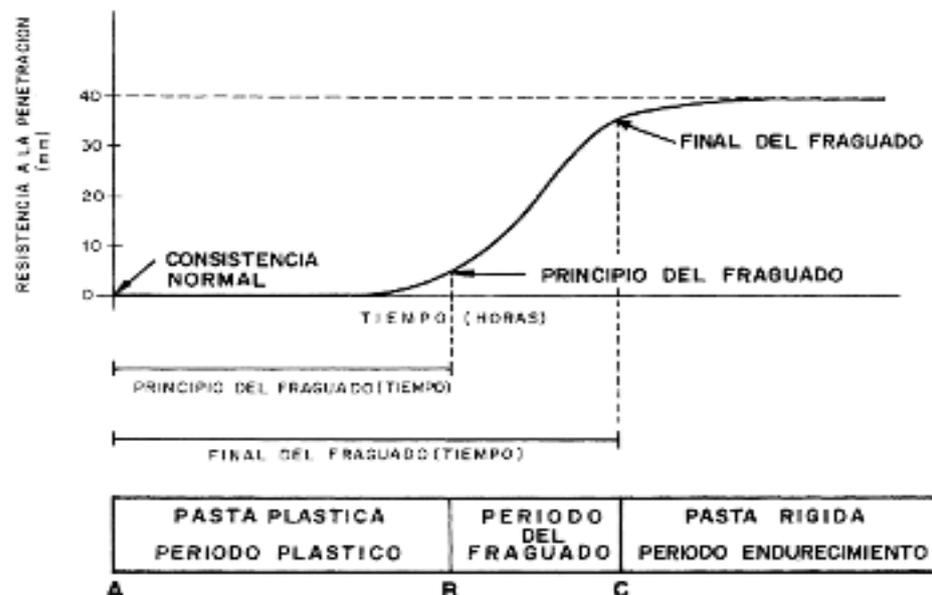


Figura N° 22: Resistencia a la penetración de una pasta de cemento. (Gaspar Tebar, D.; 2010)

Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre dos y cuatro horas después de haber conformado la mezcla de concreto, y nos indica el momento en el que la masa ha adquirido tanta rigidez que no puede ser vibrado sin dañar su estructura interna.

El fraguado final ocurre entre cuatro y ocho horas después de la conformación de la mezcla de concreto, está definido por el desarrollo de la resistencia que se genera con gran velocidad y el cambio a una pasta rígida.

En la figura 23 se observa la formación de los compuestos principales del concreto a partir de la conformación de la mezcla de concreto hasta los 28 días en que alcanza su máxima resistencia. En la etapa I se caracteriza por el incremento rápido del calor de hidratación debido a la formación de una membrana alrededor del C_3S y el C_3A . La etapa II hay una significativa reducción en la velocidad de los procesos de hidratación ello es debido a la formación de la membrana que restringe el contacto con el agua exterior. La etapa III es la etapa del fraguado que se caracteriza por la formación de los silicatos hidratados y la pasta gel. Finalmente en la etapa IV los productos de hidratación forman una densa corteza alrededor de las partículas originales, lo que genera el endurecimiento de la pasta gel. Asimismo, conforme transcurre el tiempo el contenido de vacíos disminuye.

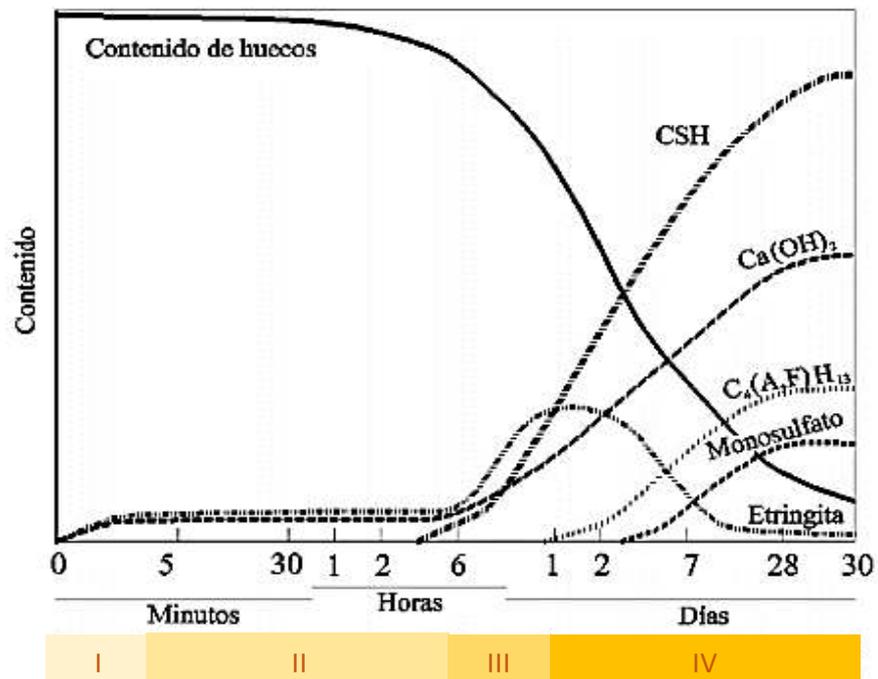


Figura N° 23: Etapas de hidratación del cemento. (Gabalec, M. 2008)

Para determinar el tiempo de fraguado del concreto se realizó por medio de la media de resistencia a la penetración de acuerdo a la norma ASTM C403. Este método establece para mezclas convencionales de concreto en el laboratorio a temperaturas de 20 a 25 °C, se hace el ensayo inicial de penetración a un tiempo transcurrido de 3 a 4h después del contacto inicial entre el cemento y el agua.

Los ensayos subsiguientes se hacen a intervalos de 1/2 a 1h. y se deben hacer por lo menos seis penetraciones para cada ensayo de tiempo de fraguado.

Los tiempo de fraguado inicial y de fraguado final es determinado cuando la resistencia a la penetración es de 3.5 MPa (500 lb/ pulg²) y 27.6 MPa (4000 lb/ pulg²), respectivamente.

Por ello, al ser conformadas en laboratorio las probetas, el primer registro de datos con la aguja se realizó luego de 3 horas y media, empleándose las 6 agujas (1/40, 1/20, 1/10, 1/4, 1/2 y 1 pulgada cuadrada) en intervalos de media hora. Para el cálculo del tiempo de fraguado se empleó una función logarítmica.



Figura N° 24: Resistencia a la penetración de la muestra patrón sp. (Propia)

En la figura 24 se grafica el tiempo de fraguado de la muestra patrón súperplastificante y su resistencia a la penetración en lb/ pulg², siendo su tiempo inicial de fraguado de 258.25 min (4h 25min) y su tiempo final de fraguado 402.21 min (6h 42 min). El periodo de fraguado fue de 143.96 min (2h 23min). Esto representa que a 4h 25min el concreto pasa de un estado semi sólido a sólido y no puede ser manejado puesto que se dañaría su estructura interna, porque es en este tiempo el inicio de la formación de los silicatos hidratados, compuestos principales que otorgan la resistencia al concreto.

En la figura 25 se puede apreciar el tiempo de fraguado inicial para cada muestra adicionada con óxido de calcio. El inicio del fraguado tiende a disminuir conforme se le adiciona mayor porcentaje de óxido de calcio, esto se debe al aumento del calor de hidratación generado por la adición del material cementoso (cenizas de residuo bovino). Esta adición presenta principalmente CaO, que al

combinarse con el agua produce la cal hidratada (compuesto con propiedades similares al cemento); compuesto que acelera el proceso de hidratación. Existe una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de adición de óxido de calcio y el tiempo de fraguado.

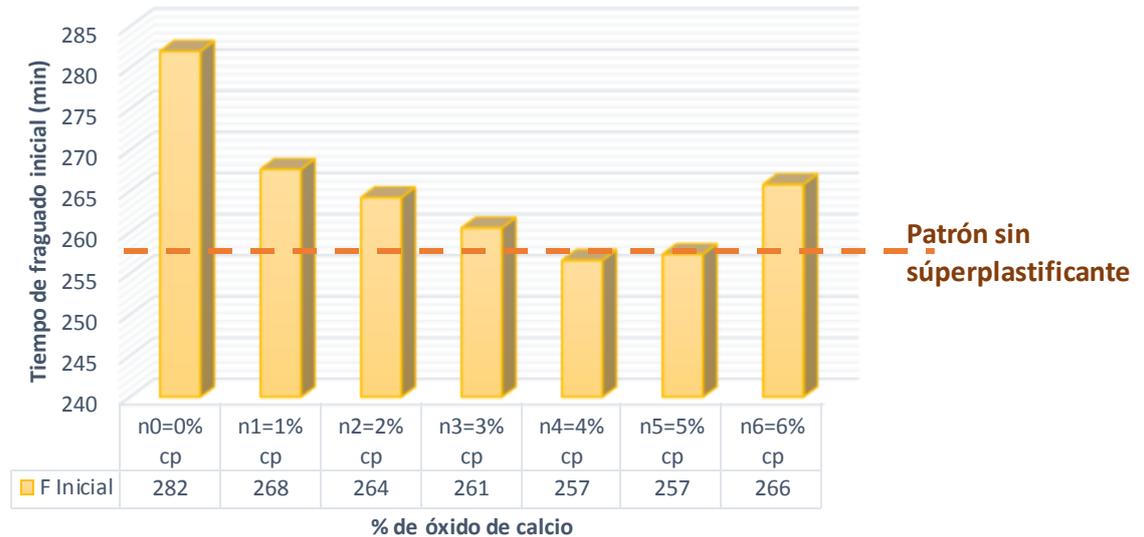


Figura N° 25: Fraguado inicial de mezclas adicionadas con óxido de calcio. (Propia)

El súperplastificante brinda trabajabilidad al concreto y con ello retrasa el inicio del tiempo de fraguado de la mezcla. Al 4% de adición de óxido de calcio presenta un inicio de fraguado similar a la mezcla patrón. Entre el 1% y 5% de adición el inicio del tiempo de fraguado disminuye. Finalmente al 6% aumenta el tiempo del inicio de fraguado debido a que la mezcla presenta una consistencia más seca, la cual no permite a los agregados una uniforme combinación y genera poros en la mezcla.

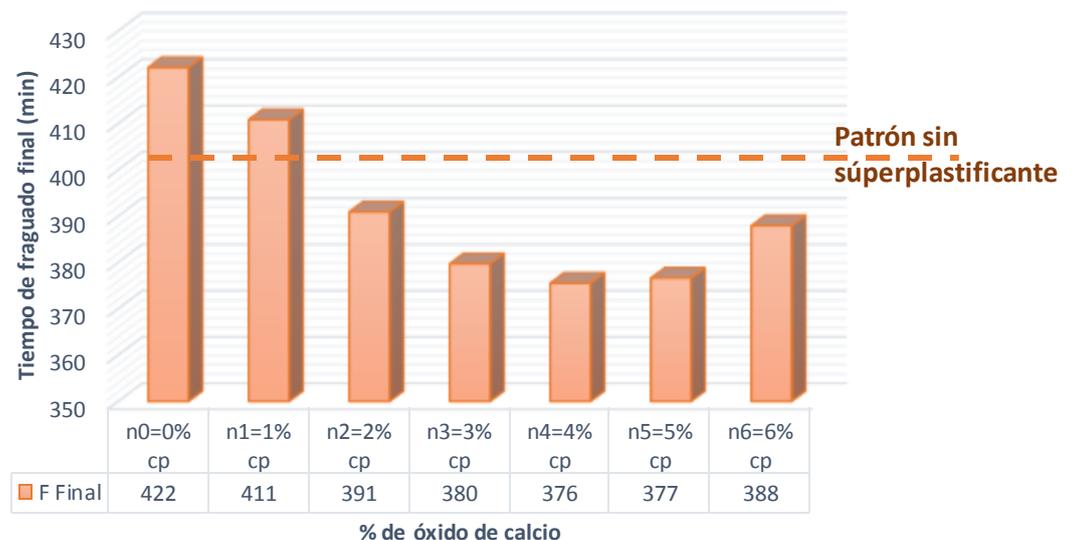


Figura N° 26: Fraguado final de mezclas adicionadas con óxido de calcio. (Propia)

En la figura 26 se puede apreciar el tiempo de fraguado final para cada muestra adicionada con óxido de calcio, es decir, el cambio de estado plástico a estado rígido del concreto es menor conforme se adiciona mayor cantidad de óxido de calcio.

De los resultados podemos afirmar que a mayor contenido de adiciones cementosas y menor relación agua cemento reduce el tiempo de fraguado y acelera el proceso de hidratación del cemento.

Tener conocimiento del tiempo de fraguado permite a los constructores la planificación de los tiempos de encofrado y desencofrado de las estructuras; así como también en el caso de los pavimentos para dar acabado, texturizar y su corte de juntas.

5.4. Propiedades en Estado Endurecido

5.4.1. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión se va a ver influenciada por la microestructura del concreto, los materiales utilizados, la relación agua/cemento, el tamaño de los agregados y otros factores de menos influencia relacionados con el amasado, puesta en obra y curado.

En cuanto a la microestructura hay tres factores que influyen decisivamente en la resistencia del concreto y son la porosidad, el tamaño de las partículas y las heterogeneidades. La adición de óxido de calcio otorgará grandes beneficios a la mezcla, no solo por su tamaño sino también por sus propiedades cementantes. Por la finura de su tamaño, ocupará los espacios vacíos y poros capilares formados en el proceso de la hidratación, disminuyendo su porosidad y contribuyendo a formar una mezcla más homogénea.

Por sus propiedades cementantes, al fijar la cal adicionada con el agua y los C_3A y C_4AF proporcionará la plasticidad y cohesión de la pasta de cemento, colaborando en gran medida a las resistencias mecánicas, permeabilidad y durabilidad, así como a la estabilidad dimensional del concreto endurecido.

La relación agua/cemento puede decirse que es el factor que más influencia tiene sobre el concreto. Si el concreto es amasado con exceso de agua de la que precisa para la hidratación del cemento, quedará un gran volumen de huecos al evaporarse, con lo cual disminuirá la resistencia. Es por ello que para mantener constante la relación agua/cemento se utilizó un súperplastificante.

Para someter al ensayo de compresión se elaboraron especímenes de concreto bajo la norma NTP339.183, cuyas dimensiones fueron de \varnothing 100mm y h=

200mm. Estos pasaron un proceso de curado de 28 días y refrendados con mortero de azufre bajo la norma NTP 339.037. En la tabla 59 se observa la resistencia a compresión para cada porcentaje de adición, asimismo se observa el porcentaje de aumento de su resistencia con respecto al diseño de mezcla $f_c=280\text{kg/cm}^2$

Tabla 59: Porcentaje de ganancia de compresión de mezclas adicionadas con óxido de calcio. (Propia)

Mezclas		Resistencia a Compresión (Kg/cm ²)	Ganancia de Resistencia a Compresión (%)
% de Óxido de Calcio	0%	309	10.26
	1%	312	11.46
	2%	337	20.20
	3%	341	21.73
	4%	353	26.06
	5%	335	19.60
	6%	325	15.79

Si la relación agua/cemento es constante entonces las resistencias serán iguales, sin embargo, en la figura 27 se observa que la resistencia a compresión se incrementa entre un 10% y 26% del f_c de diseño, a causa de la adición de óxido de calcio en porcentajes de 1% al 4% del concreto; es decir, que la adición incrementa la pasta de cemento por comportarse como material cementoso; proporcionando así una docilidad mayor, menor cantidad de huecos y por tanto mayor resistencia.

La máxima resistencia sucede al 4% de adición alcanzando un $f_c=353\text{ kg/cm}^2$. Esta máxima resistencia significa que la mezcla se encuentra completamente hidratada y exenta de poros. Una mayor resistencia refleja una mayor durabilidad de las estructuras de concreto, minimiza su dimensionamiento y refuerzo estructural (acero), y todo ello se ve reflejado en la reducción de costos. A partir del 5% y 6% de adición la resistencia empieza a decrecer, sin embargo siguen siendo mayores a la resistencia patrón. Debido a la mala distribución de los agregados, baja trabajabilidad y formación de poros, se ocasiona el descenso de la resistencia.

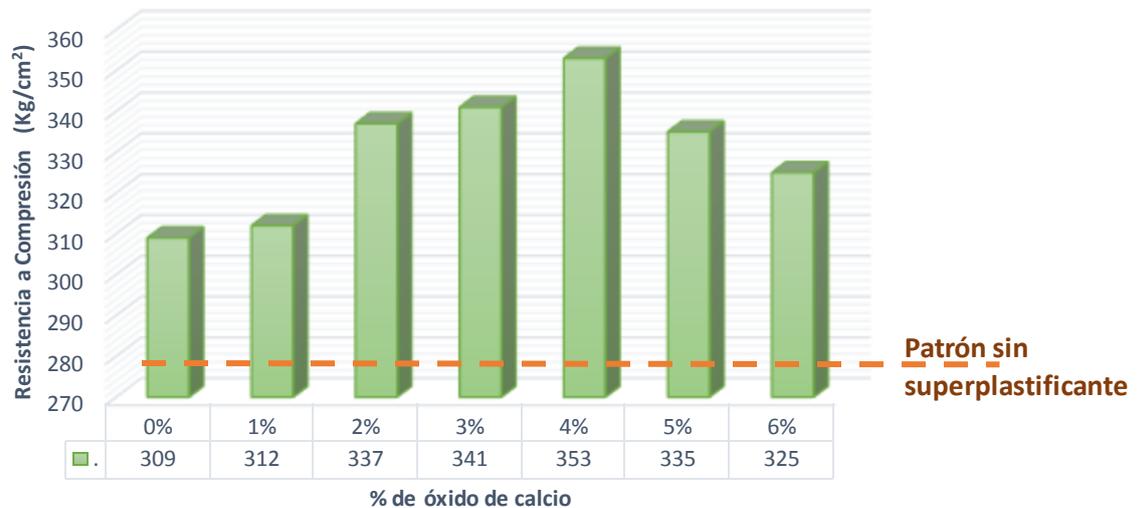


Figura N° 27: Resistencia a compresión de mezclas adicionadas con óxido de calcio. (Propia)

5.4.2. Densidad

Otra característica física importante del concreto es la densidad, propiedad que va a dar una idea muy apreciable sobre su comportamiento tanto físico como químico y la permeabilidad que va a determinar en gran parte la resistencia que presenta, es decir su durabilidad.

La densidad real del concreto, depende fundamentalmente de la que tengan los áridos, de su granulometría y del volumen de estos que entren en su composición. De acuerdo a ello, podemos decir, los concretos de mayor densidad son los que tienen áridos muy densos y con buenas distribución granulométricas continuas de los tamaños, de forma que dan lugar a la máxima compacidad. La mayor densidad se obtendrá con la mayor compacidad, es decir, que cuanto menor sea la cantidad de huecos en el concreto, o mayor sea la consolidación del mismo.

En la figura 28 se puede apreciar la densidad para cada muestra adicionada con óxido de calcio. En los concretos tradicionales, la norma NTP339.600 los clasifica de acuerdo a su densidad en pesado (>2000 kg/cm³), normal (entre 1680-2000 kg/cm³) y liviano (<1680 kg/cm³); siendo para estas mezclas elaboradas concretos pesados ya que presentan densidades mayores a 2000 kg/cm³.

De la muestra patrón sin plastificante realizada se obtuvo una densidad de 2230 kg/cm³, la cual al adicionar el plastificante aumento en 1.50%.

Entre el 1% y 4% de adición, su densidad tiene un crecimiento paulatino. La densidad se incrementa conforme se le adiciona mayor porcentaje de óxido de calcio, esto se debe a que el material empieza a ocupar los espacios vacíos generados en el proceso de hidratación, disminuyendo la porosidad y otorgando al concreto mayor compactación. Existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de adición de óxido de calcio y el asentamiento.

Al 4% de adición de óxido de calcio presenta el máximo incremento de densidad de 6.09% respecto a la patrón, siendo esta de 2370 kg/m³. Una densidad elevada, en principio, es un índice de que el concreto posee buenas resistencias mecánicas y una buena durabilidad.

Finalmente al 5% y 6%, la densidad empieza a disminuir debido a que la mezcla por presentar consistencia seca ya no permite la total saturación de los componentes del concreto, generando una menor consolidación de esta. Asimismo los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos de densidad para concretos tradicionales.

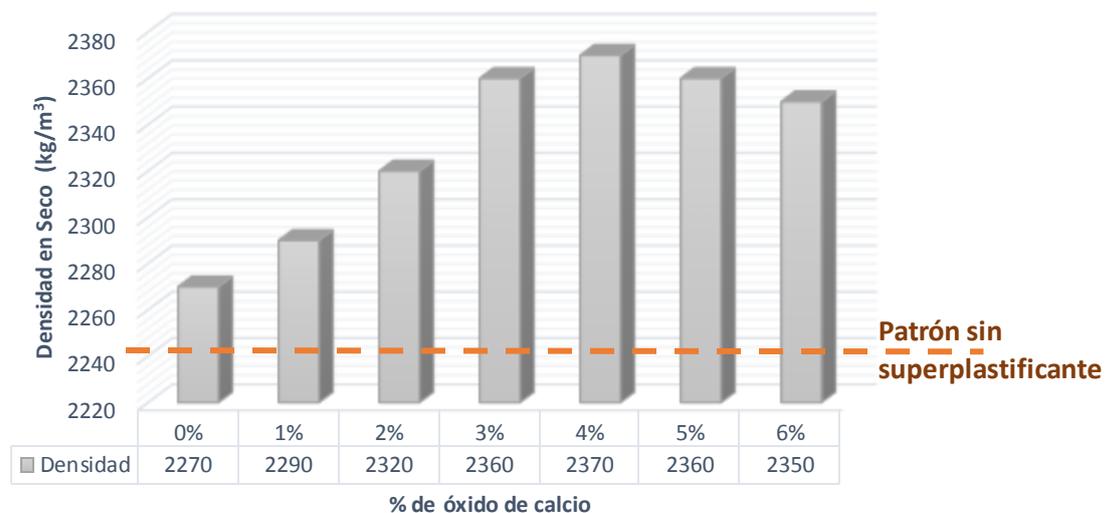


Figura N° 28: Densidad en seco. (Propia)

5.4.3. Porosidad y absorción

Existen espacios vacíos que quedan inmersos dentro de la masa del material, como consecuencia de la evaporación del agua libre de la mezcla y de la presencia de aire naturalmente atrapado. Estos espacios se denominan poros. En la figura 29 se observa la división de poros según su tamaño.

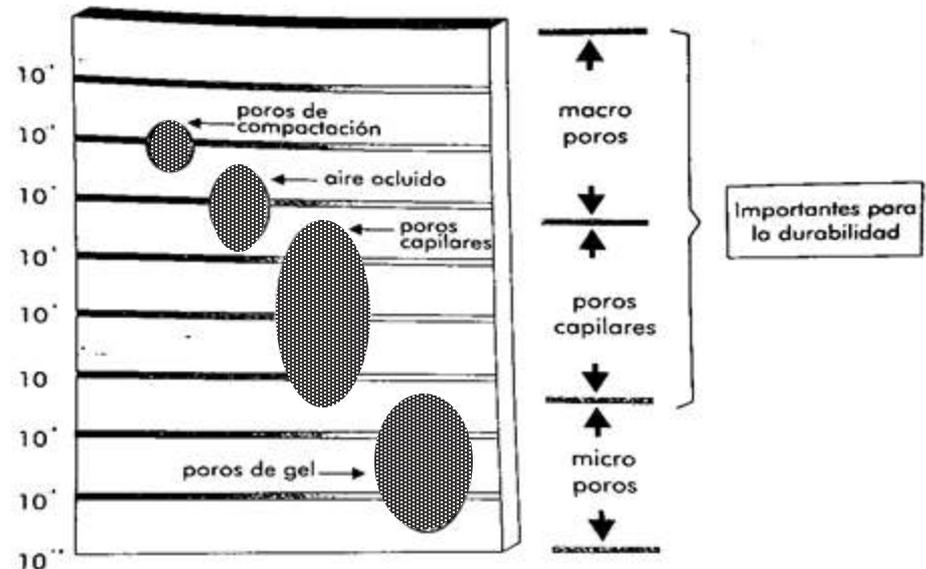


Figura N° 29: Conformación de la estructura porosa del concreto. (Sánchez, D., 2003)

Los más importantes para la durabilidad del concreto son los poros capilares y los macroporos. Los poros capilares se encuentran por fuera de la pasta gel del cemento y su aumento reduce la resistencia del concreto.

Al poseer una relación agua/ cemento baja y adiciones cementosas, el concreto presenta baja permeabilidad, mayor cohesión entre las partículas, disminución de la porosidad y por tanto elevada resistencia a compresión y alta durabilidad.

Su baja permeabilidad permite el mayor cerrado de poros capilares, haciendo que la interacción con agentes agresivos, tanto de tipo físico como químicos sea menor; es así como le brinda al concreto una buena protección contra la corrosión de las armaduras, el ataque por sulfatos y la reacción álcali-sílice.

La muestra patrón sin plastificante tuvo una absorción de 7.18% y una porosidad de 16.02%. En la figura 30 se observa como la porosidad y absorción del concreto va disminuyendo a medida que se aumenta la cantidad de óxido de calcio en proporciones del 1% al 4%, llegando a tener la mínima porosidad de 4.69% y mínima absorción de 1.54% al 4% de adición de óxido de calcio. Esto se debe a la finura del óxido de calcio, que al adicionarse al

concreto, durante el proceso de hidratación, llena los espacios vacíos generados por los agregados, dando como resultado la disminución de la porosidad y absorción.

A partir del 5% y 6% de adición, la absorción y porosidad empieza a aumentar, por la poca consistencia seca que posee, la cual requiere mayor cantidad de agua, pero como se mantuvo constante la relación a/c, no logra hidratarse totalmente; por lo contrario ocurre un rápido fraguado y endurecimiento de la mezcla, no permitiendo un buen acomodo de los agregados y dejando espacios vacíos en la mezcla.

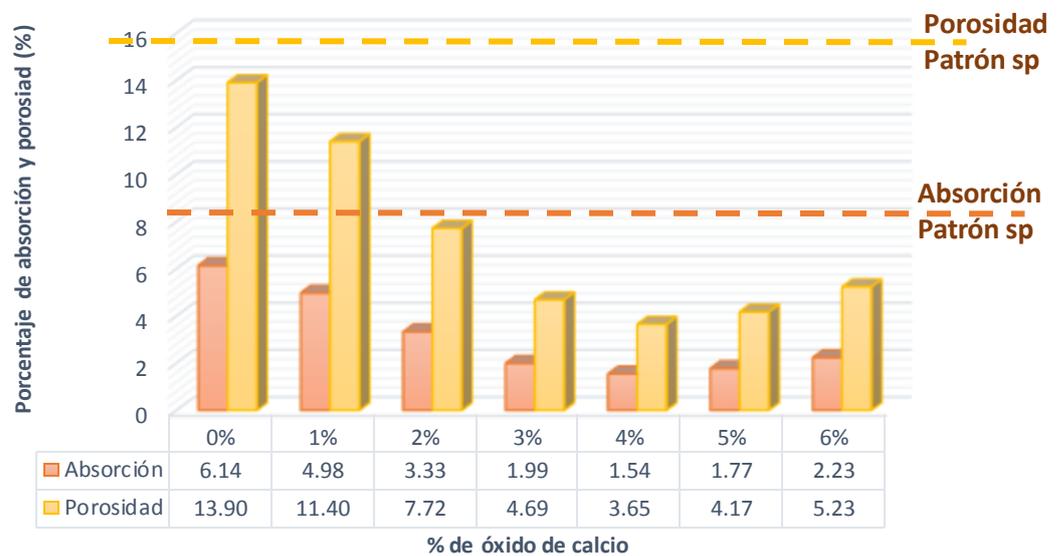


Figura N° 30: Absorción y porosidad. (Propia)

5.5. Evaluación económica de las alternativas

Un problema que presentan los concretos de altas resistencias, es su elevado precio, especialmente cuando se emplea aditivos artificiales. La utilización de cenizas de origen calcáreo con propiedades cementosas son capaces de sustituir a estos aditivos, proporcionar buenas resistencias y minimizar los costos.

Los costos para la elaboración de una mezcla de concreto está constituido básicamente por el precio del cemento, agregado, aditivo y en menor escala el agua. En la figura 31 se observa una comparación de costos utilizando una microsílíce Rheomac SF100 y las cenizas de ganado bovino. Cabe recalcar que los costos presentados en esta investigación son referenciales, dado que los índices de precios de materiales de construcción varían mensualmente siendo publicados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática y en El Peruano.

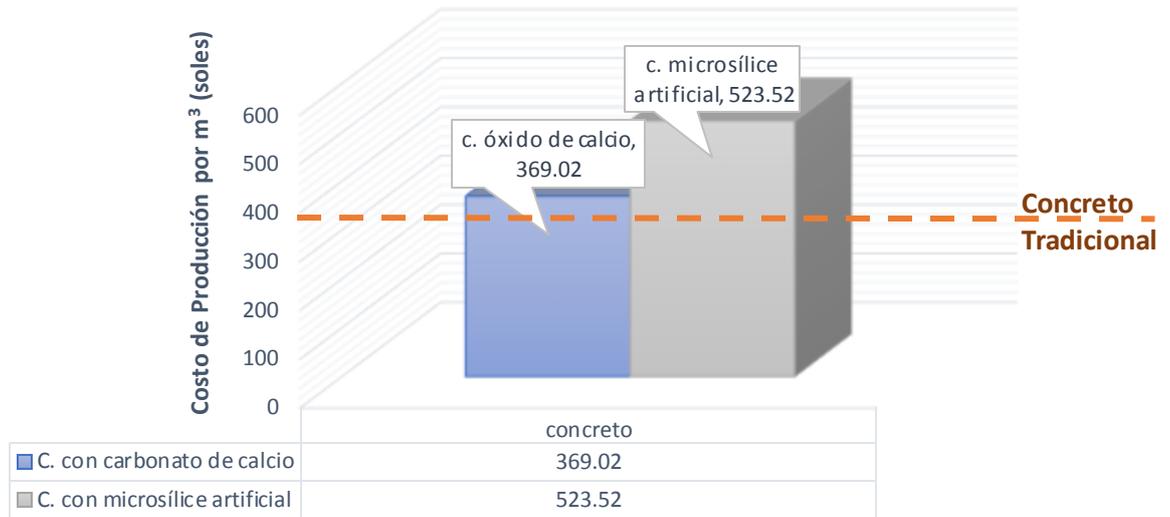


Figura N° 31: Evaluación de costos de producción (Propia)

En cuanto al costo de producción de un metro cúbico de concreto tradicional para la muestra patrón fue de s/.329.52, el cual se incrementa en un 58.87% utilizando un aditivo artificial mientras que utilizando las cenizas de residuos bovinos en un 11.99%. De ello, podemos decir que si utilizamos cenizas naturales, el ahorro es de s/. 154.50 por m³ con respecto a un concreto adicionado con microsíllice Rheomac SF100. Este ahorro no significa que por tener menor costo la resistencia a adquirir sea menor, en vez de ello el óxido de calcio aumenta la resistencia al concreto en un 26% mientras que la microsíllice Rheomac SF100 tan solo le incrementa en un 8.27%. Para realizar el comparativo se hizo a partir de un diseño $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y adicionando el aditivo natural o artificial al 4%.

A pesar que el metro cúbico se eleva en un 11.99% con respecto al costo de producción de la mezcla patrón, se obtiene un ahorro en las estructuras con respecto al concreto tradicional, especialmente en pilares, ya que las dimensiones de estos serán menores, tendrán menor cantidad de acero y permitirán obtener estructuras de buenas resistencias y durables.

Desde el punto de vista ambiental, esta adicción, al ser obtenida del reciclaje de residuos sólidos bajo el Decreto Legislativo N°1278, disminuye la cantidad de basura y evita la degradación de los recursos naturales no renovables, es decir, contribuye con la conservación del medio ambiente. Desde el punto de vista económico, esta propuesta es atractiva ya que se utilizará un residuo como materia prima, siendo así los costos de producción disminuyen.

CONCLUSIONES

- ✓ Se elaboró un diseño de mezcla de concreto de 280 kg/cm^2 con agregados de la cantera de La Esperanza, con cemento Portland Pacasmayo Tipo I según el método ACI 211 obteniendo una relación agua/cemento inicial de 0.52 sin óxido de calcio.
- ✓ La trabajabilidad del concreto con súperplastificante se considera óptimo cuando se utiliza porcentajes del 1% al 4% de adición de óxido de calcio, puesto que las mezclas presentan consistencia plástica y son manejables. A porcentajes superiores la mezcla presenta consistencia seca y pierde trabajabilidad, por lo que sería necesario el uso de máquinas vibradoras.
- ✓ El fraguado del concreto con súperplastificante tiende a acelerarse conforme se le adiciona el óxido de calcio entre 1% y 5%. A partir del 6% el inicio del fraguado se vuelve ligeramente más lento.
- ✓ Los resultados de resistencia a compresión muestran un incremento entre un 10% y 26% del f'_c de diseño, cuando se adiciona óxido de calcio en porcentajes de 1% al 4%. A partir del 5% la resistencia empieza a disminuir. La máxima resistencia sucede al 4% de adición alcanzando un $f'_c=353 \text{ kg/cm}^2$.
- ✓ La densidad del concreto con súperplastificante aumenta conforme se le adiciona óxido de calcio en porcentajes de 1% al 4%. Porcentajes mayores al 4% ocasionan una disminución de la densidad. Al 4% de adición de óxido de calcio presenta el máximo incremento de densidad de 6.09% respecto a la patrón, siendo esta de 2370 kg/m^3 .
- ✓ La porosidad y absorción del concreto con súperplastificante va disminuyendo a medida que se aumenta la cantidad de óxido de calcio en proporciones del 1% al 4%, llegando a tener la mínima porosidad de 4.69% y mínima absorción de 1.54% al 4% de adición de óxido de calcio. A partir del 5% y 6% de adición, la absorción y porosidad empieza a aumentar.
- ✓ De los resultados obtenidos se determinó que el porcentaje óptimo de adición de óxido de calcio es al 4% para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco-endurecido. Esta adición disminuye la relación agua/cemento de 0.44.
- ✓ Económicamente el concreto adicionado con óxido de calcio extraído a partir de cenizas de residuos de ganado bovino comparado con un concreto adicionado con microsílíce Rheomac SF100 es más barato, permitiendo un ahorro de s/.154.50 por metro cúbico.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar un análisis químico para ver cómo afecta la adicción de óxido de calcio sobre la reacción álcali-sílice, ataque de sulfatos y carbonatación.
- ✓ La finura del material es una propiedad que interviene mucho para la ganancia de resistencia a compresión, por ello se puede realizar estudios con la adicción de óxido de calcio en tamaño menor a 0.075mm.
- ✓ El óxido de calcio en contacto con el agua, presenta propiedades cementosas, y se encuentra disponible en la naturaleza en forma de conchuela marina, piedra caliza, esqueletos de animales; por lo que se sugiere ampliar la línea de investigación.
- ✓ De los resultados obtenidos en compresión se dedujo que el óxido de calcio no sólo podría ser utilizado como adicción sino también como reemplazo, es por ello que se recomienda realizar un estudio reemplazando el cemento por el óxido de calcio.
- ✓ Este óxido de calcio extraído a partir de huesos de ganado bovino se recomienda que sea empleado en el sector construcción, tanto para empresas comercializadoras de aditivos como empresas ejecutoras, para incrementar la resistencia y disminuir la porosidad del concreto.

REFERENCIAS

- Absalón V. y Salas R. (2008). Influencia en el diseño de mezcla de agregados de diferente procedencia en el Estado de Mérida. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Recuperado el 28 de noviembre de 2016, desde http://tesis.ula.ve/pregrado/tde_arquivos/7/TDE-2010-05-05T05:20:33Z-863/Publico/Absalon_Salas.pdf
- Absalón V. y Salas R. (2008). *"Influencia en el diseño de mezcla de agregados de diferente procedencia en el Estado de Mérida"* (Tesis de Grado). Universidad de los Andes, Mérida - Venezuela.
- Acevedo Agudelo, H.; Vásquez Hernández, A. y Ramírez Cardona, D. (2012). *"Sostenibilidad: Actualidad y necesidad en el sector de la construcción en Colombia"*. Universidad EAFIT. Medellín, Colombia. Recuperado el 11 de noviembre de 2017, desde <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/39307>
- Alcántara Ávila, V y Maceda Álvarez, P. (2014). *"Influencia del porcentaje de reemplazo de ceniza volante sobre la resistencia a la compresión, actividad puzolánica y reactividad álcali-silice en la fabricación de morteros tipo I"*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo- Perú.
- Alfaro Caycho, J. (2014) *"la puzolanidad y reactividad álcali-silice de morteros adicionados con óxido de calcio obtenido de conchas de abanico"* (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo- Perú.
- Allauca Pincay, L.; Amen Loor, H. y Lung Alvarez, J. (2009). *"Uso de sílice en hormigones de alto desempeño."* Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 03 de octubre de 2017, desde <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/8676/D-39840.pdf?sequence=1&isAllowed=yhttps://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/7684/1/Uso%20de%20s%C3%ADlice%20en%20hormigones%20de%20alto%20desempe%C3%B1o.pdf>
- Amaris Martínez, N y Rondon Panqueva, V (2009) *"Uso del silicato de sodio como adición natural del concreto hidráulico"*. Universidad de la Salle, Bogotá - Colombia. Recuperado el 28 de noviembre de 2016, desde <http://docplayer.es/7102340-Uso-del-silicato-de-sodio-como-adicion-natural-del-concreto-hidraulico-nestor-andres-amaris-martinez-vladimir-rondon-panqueva.html>
- Batic, O.R. Giaccio, G. y Zerbino, R e Isaia, G. (2010). *"Las cenizas de cáscara de arroz y la reacción álcali sílice"*. Universidad Federal de Santa María, Brazil. Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde http://www.edutecne.utn.edu.ar/cinpar_2010/Topico%203/CINPAR%20020.pdf

- Barrantes Villanueva, J y Holguin Romero, R. (2015) *"Influencia del porcentaje de reemplazo de ceniza volante por cemento, sobre la resistencia a la compresión y absorción en la fabricación de adoquines de tránsito liviano"*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo- Perú.
- BBC Mundo (2017). *"Estos son los países de América Latina que más y menos crecerán en 2017"* Recuperado el 11 de noviembre de 2017, desde <http://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-40826035>
- Bedoya Montoya, C (2003) *"El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles"*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín- Colombia. Recuperado el 28 de noviembre de 2016, desde <http://www.bdigital.unal.edu.co/3477/1/98589947-2003.pdf>
- Calcaneo, G. (2014). *"Ceniza de Hueso "Bone Ash"*. Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde <http://quimicoglobal.mx/ceniza-de-hueso-bone-ash/>
- Cementos Pacasmayo (2016) *"Acerca de Cementos Pacasmayo"*. Recuperado el 28 de noviembre de 2016, desde http://accionistas.cementospacasmayo.com.pe/cementospacasmayo/web/conteudo_es.asp?idioma=2&conta=47&tipo=54239
- Cementos Pacasmayo, J. (2016). *"Informe anual Cementos Pacasmayo"* Recuperado el 23 de septiembre de 2017, desde <http://www.pacasmayoprofesional.com/pdf/Pacasmayo-memoria-anual-2016.pdf>
- Chávez Quispe, J y Medina Castillo, J. (2009) *"Influencia del tipo y porcentaje en peso de escoria adicionada, sobre la resistencia a la compresión, ataque por sulfatos y penetración de iones de cloruro en morteros y probetas de concreto a base de cemento portland tipo IM"*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo- Perú.
- Chema (2016) *"Hoja Técnica-Aditivo reductor de agua"*. Recuperado el 28 de noviembre de 2016, desde http://www.chema.com.pe/assets/productos/ficha-tecnica/HT_CHEMA%20PLAST_2016.pdf
- Contreras Cueva, K. y Peña Villalobos J. (2017). *"Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón de mezcla"*. Universidad Privada del Norte, Trujillo- Perú.
- Cordón Mena, E. y Cortez Cortez, E. (2010). *"Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino y grueso"* Recuperado el 10 de noviembre de 2017, desde <https://es.scribd.com/doc/112386432/DETERMINACION-DE-LA-GRAVEDAD-ESPECIFICA-Y->

PORCENTAJE-DE-ABSORCION-DEL-AGREGADO-FINO-ASTM-C-128-AASHTO-T-84-
DETERMINACION-DE-LA-GRAVEDAD-ESPECIFICA

Cueva Gadea R y Eustaquio Lázaro, W. (2012) "*Influencia del porcentaje de diatomita sobre la trabajabilidad Y la resistencia a compresión de un concreto autocompactable*". Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo- Perú.

Damiani, C. (2010). "*Control de calidad para el concreto.*" Recuperado el 22 de octubre de 2016, desde http://carlosdamiani.blogspot.pe/2010_11_01_archive.html

De la Mata Segarra, M; Encinar Calvo, C. y Maldonado Gavilán, N. (2017). "*Unidad de Análisis Térmico*". Recuperado el 25 de noviembre de 2017, desde https://www.uam.es/ss/Satellite/es/1242668322022/1242666562032/UAM_Laboratorio_FA/lab-oratorio/Laboratorio_de_Analisis_Termico.htm

El Comercio (2016). "*Faltan 132 rellenos sanitarios para cubrir demanda en el país*" Recuperado el 10 de noviembre de 2017, desde <https://elcomercio.pe/peru/faltan-132-rellenos-sanitarios-cubrir-demanda-pais-259560>

El Comercio (2017). "*Sector construcción habría repuntado en junio después de diez meses*" Recuperado el 23 de septiembre de 2017, desde <http://elcomercio.pe/economia/sector-construccion-habria-repuntado-junio-inei-noticia-446734>

El Peruano (2016). "*Decreto Legislativo N° 1278*" Recuperado el 09 de noviembre de 2017, desde <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-de-gestion-integral-d-decreto-legislativo-n-1278-1466666-4/>

Fernández Canovas M (2011) "*Hormigón*". Novena edición. Editorial Colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Privada del Norte, Trujillo- Perú.

Gaspar Tebar, D. (2010). "*Tiempo de fraguado: algunos comentarios sobre el método de ensayo*". Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España. Recuperado el 04 de octubre de 2017, desde <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1078/1148>

Gabalec, M. (2008). "*Tiempo de fraguado del hormigón*". Universidad Tecnológica Nacional, La Plata, Argentina. Recuperado el 04 de octubre de 2017, desde http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/Tesis2008_Anabela-Gabalec_Tiempo-de-Fraguado-del-Hormigon.pdf

Gestión (2017). "Perú desarrolla primera planta que fabricará ladrillos reciclando relaves mineros"
Recuperado el 27 de septiembre de 2017, desde <http://gestion.pe/tecnologia/peru-desarrolla-primera-planta-que-fabricara-ladrillos-reciclando-relaves-mineros-2199926>

González Acevedo V. y Rodríguez Vilca, J. (2008). "Influencia del porcentaje de microsilíce sobre la trabajabilidad en estado fresco y la resistencia a la compresión en estado endurecido de un concreto autocompactante". Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo- Perú.

Gonzales Sacsi, S y Ticona Cansaya, K. (2016). "Evaluación de la influencia de la granulometría de piedra caliza, concentración de carbonato de calcio, tiempo de residencia y temperatura de calcinación para mejorar el rendimiento en la obtención de óxido de calcio". Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. Recuperado el 25 de noviembre de 2017, desde <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2403/IQticaka.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Grupo RPP (2016). "Así está el Perú: Solo hay 12 rellenos sanitarios para los 1851 distritos"
Recuperado el 10 de noviembre de 2017, desde <http://rpp.pe/politica/elecciones/asi-esta-el-peru-solo-hay-12-rellenos-sanitarios-para-los-1851-distritos-noticia-944901>

Grupo RPP (2016). "Solo hay 11 rellenos sanitarios para 31 millones de personas en el país"
Recuperado el 10 de noviembre de 2017, desde <http://rpp.pe/peru/actualidad/solo-hay-11-rellenos-sanitarios-para-31-millones-de-personas-en-el-pais-noticia-996181> rpp 2016

Hemán Acevedo, R. y Roció Guerra, T. (2005). "Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana". Universidad de Chile, México. Recuperado el 06 de diciembre de 2016, desde <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111195/tesis%20caliza.pdf?sequence=1>

Huaquisto Cáceres, S. (2015). "Efecto de la ceniza volante en la resistencia del concreto en condiciones de clima natural". Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde <file:///C:/Users/User/Downloads/44-206-1-PB.pdf>

Huaroc Palacios, A. (2017). "Influencia del porcentaje de micro sílice a partir de la ceniza de la cascarilla de arroz sobre la resistencia a la compresión, asentamiento, absorción y peso unitario de un concreto mejorado". Universidad Privada del Norte, Trujillo- Perú.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). "Principales Indicadores Macroeconómicos"
Recuperado el 23 de septiembre de 2017, desde <https://www.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). "*Series Nacionales*" Recuperado el 26 de septiembre de 2017, desde <http://webinei.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). "*Sistema de Información Regional para la toma de decisiones*" Recuperado el 26 de septiembre de 2017, desde <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD1/inicio.html#>

Instituto Americano del Concreto (2015). "*Guía del contratista para la construcción en concreto de calidad*" Tercera edición. Editorial Sociedad Americana de Contratistas del Concreto- ASCC. Universidad Privada del Norte, Trujillo- Perú.

Laboratorio de Materiales de Construcción (2003). "*Determinación del tiempo de fraguado inicial y final del cemento*" (Artículo de Investigación). Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador. Recuperado el 04 de octubre de 2017, desde <http://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Fraguado%20inicial%20y%20final%20del%20cemento.pdf>

Leconca (2009). "*Biomecánica del hueso*" Recuperado el 10 de noviembre de 2017, desde <https://es.slideshare.net/leconca/5-biomecanica-del-hueso>

Lorca Aranda, P. (2014). "*Efecto de la adición de hidróxido cálcico sobre mezclas con alta sustitución de cemento por ceniza volante*". Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/39340/Lorca%20-%20EFECTO%20DE%20LA%20ADICION%20DE%20HIDROXIDO%20CALCICO%20SOBRE%20MEZCLAS%20CON%20ALTA%20SUSTITUCION%20DE%20CEMENTO%20POR%20CENIZA%20VOLANTE.pdf?sequence=1>

Mafla, A. (2014). "*Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción*". Universidad del Cauca, Colombia. Recuperado el 03 de octubre de 2017, desde <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/viewFile/47/46>

Mamlouk M. y Zaniewski J. (2009). "*Materiales para Ingeniería Civil*". Segunda edición. Editorial Pearson. Universidad Privada del Norte, Trujillo- Perú.

Manals-Cutiño, E; Penedo-Medina, M. y Giralt-Ortega, G. (2011). "*Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales*". Universidad de Oriente, Cuba. Recuperado el 25 de noviembre de 2017, desde http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852011000200005

Mayta Rojas, J. (2014). "*Influencia del aditivo súperplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo*". Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. Recuperado el 04 de octubre de 2017, desde <https://es.scribd.com/document/252093067/influencia-del-aditivo-superplastificante-en-el-tiempo-de-fraguado-trabajabilidad-y-resistencia-del-concreto>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017). "*Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de Construcción)*" Recuperado el 23 de septiembre de 2017, desde http://www3.vivienda.gob.pe/Destacados/estadistica/62_PBI-CONSTRUCCION.pdf

Ministerio del Ambiente (2017). "*Nueva Ley de gestión integral de residuos sólidos, Ley N° 27314, D.L. N°1278*" Recuperado el 09 de noviembre de 2017, desde <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/nueva-ley-de-residuos-solidos/>

Murillo Acevedo, Y. (2011). "*Estudio de adsorción de fenol y dinitrofenol desde solución acuosa sobre materiales porosos obtenidos a partir de huesos de bovino, porcino y pollo*". Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado el 09 de noviembre de 2017, desde <http://www.bdigital.unal.edu.co/6444/1/197552.2011.pdf>

Notas y Apuntes, C. (2015). "*Ensayo de consistencia del concreto.*" Recuperado el 22 de octubre de 2016, desde <http://ingcivil-notasapuntes.blogspot.pe/2015/02/ensayo-de-consistencia-del-concreto.html>

Niño Hernández, J. (2014). "*Tecnología del concreto- Tomo I*". Tercera edición. Editorial Asocreto. Universidad Privada del Norte, Trujillo- Perú.

Piña Barba, M.; Murguía Acevedo, N. y Palma Cortés, R. (2006). "*Caracterización de hueso de bovino anorgánico: Nukbone*". Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México., México. Recuperado el 8 de octubre de 2017, desde <http://www.medigraphic.com/pdfs/ortope/or-2006/or064d.pdf>

Pérez Guillén, J. (2016). "*Comportamiento físico mecánico (resistencia a compresión, resistencia a flexión y resistencia a tracción) del concreto con fibras de polipropileno – trujillo – la libertad*". Universidad Privada del Norte, Trujillo- Perú.

Polanco Rodríguez, A (2012). "*Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto*" Recuperado el 11 de noviembre de 2017, desde http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB_DE_CONCRETO.pdf

Poma Chávez, C (2014). "*Propiedades del suelo*" Recuperado el 11 de noviembre de 2017, desde <https://es.slideshare.net/yanethmirianbozabendezu/propiedades-del-suelo-introduccion-a-la-contaminacion-de-suelos>

Rivera, G, (2010). "*Agregado para concreto o mortero*" Recuperado el 11 de noviembre de 2017, desde <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2002%20-%20Agregados%20para%20mortero%20y%20concreto.pdf>

Poma Chávez, C (2014). "*Propiedades del suelo*" Recuperado el 11 de noviembre de 2017, desde <https://es.slideshare.net/yanethmirianbozabendezu/propiedades-del-suelo-introduccion-a-la-contaminacion-de-suelos>

Scanferla Lucas, J. (2009). "*Ensayos de hormigón en estado fresco y endurecido*". Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/10/Tesis2009_Lucas-Scanferla.pdf

Sánchez Malagón, R. (2006). "Estudio de Mecánica de suelos en la Planta Procesadora de Nopal Los Remedios San Bernardino Tlaxcalancingo, Municipio San Andrés Cholula, Puebla". Universidad de las Américas Puebla, México. Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_m_r/portada.html

Sánchez Guzmán, D. (2003). "*Durabilidad y patología del concreto*". Primera edición. Editorial Asocreto. Universidad Privada del Norte, Trujillo- Perú.

Sika (2017). "*Sika® Fume*" Recuperado el 27 de septiembre de 2017, desde http://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/mercados_sika/sika-aditivos-concreto/productos-aditivos-para-concreto/aditivos-concreto-premezclado/premezclado-adiciones.html

Sika (2017). "*Sika® ViscoCrete®-3330*" Recuperado el 04 de octubre de 2017, desde http://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/mercados_sika/sika-aditivos-concreto/productos-aditivos-para-concreto/aditivos-concreto-premezclado/premezclado-superplastificantes-concreto.html

Sistema Nacional de Información Ambiental (2017). "*Ley General de Residuos Sólidos*." Recuperado el 09 de noviembre de 2017, desde <http://www3.vivienda.gob.pe/grd/normas/NormasEstadoGRD/01%20Ley%20GRD%20-%20Estado/01%20Ley%20N%C2%B0%2027314%20-%20Ley%20General%20de%20Residuos%20Sólidos.pdf>

- Sistema Nacional de Información Ambiental (2017). "*Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos.*" Recuperado el 09 de noviembre de 2017, desde <http://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-residuos-solidos>
- Silva, Y. y Delvasto, S (2015). "*Características físicas y mecánicas de porcelanas dentales feldeespáticas empleando hueso bovino como reemplazo del feldeespato.*" Universidad del Valle. Cali, Colombia. Recuperado el 8 de octubre de 2017, desde https://www.researchgate.net/profile/Yimmy_Silva/publication/298352139_CHARACTERISTICA_S_FISICAS_Y_MECANICAS_DE_PORCELANAS_DENTALES_FELDESPATICAS_EMPLEA
- Tello A. (2008). "*Uso del aditivo súperplastificante RHEOBUILD 1000 y la fibra de polipropileno FIBERMESH 300 en edificios con muros de ductilidad limitada aplicada al conjunto habitacional Lomas Caminos del Inca.*" Universidad Ricardo Palma, Lima- Perú. Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/96/1/tello_am.pdf
- Torre A. (2004). "Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles". Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú. Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde https://www.academia.edu/9191423/CURSO_BASICO_DE_TECNOLOGIA_DEL_CONCRETO_PARA_INGENIEROS_CIVILES
- Unión Andina de Cementos (2014). "*Tabla de dosificaciones y equivalencias*" Recuperado el 09 de noviembre de 2017, desde <http://www.unacem.com.pe/wp-content/uploads/2014/12/TblDOSIF.pdf>
- Uriel Hernández, J. (2011). "*Comportamiento físico y mecánico del mortero a base de cenizas del bagazo de caña de azúcar como árido en aplanado de muros.*" Universidad Veracruzana, México. Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30602/1/HdzJaen.pdf>
- Wozniak, I. (2012). "*Ceniza de hueso*" Recuperado el 30 de marzo de 2016, desde <http://ceramicdictionary.com/es/c/4045/ceniza-de-hueso-manufactura>
- Zuñiga, O. (2013). "*Compuestos principales del cemento portland.*" Recuperado el 22 de octubre de 2016, desde <http://omard10.blogspot.pe/2013/06/compuestos-principales-del-cemento.html>

APÉNDICE

APÉNDICE 1: Caracterización de Agregados

Ensayo Granulométrico

Tabla 60: Ensayo Granulométrico del Agregado Fino. (Propia)

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
N°3/4"	19.00	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N°1/2"	12.50	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N°3/8"	9.50	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N°4	4.75	10	1	1	99	10	1	1	99	10	1	1	99
N°8	2.36	51	6	7	93	52	6	7	93	53	6	8	92
N°16	1.18	124	15	22	78	125	15	22	78	123	15	22	78
N°30	0.60	229	28	50	50	228	27	50	50	230	28	50	50
N°50	0.30	210	25	75	25	212	25	75	25	214	26	76	24
N°100	0.15	157	19	94	6	158	19	94	6	156	19	94	6
N°200	0.08	42	5	99	1	42	5	99	1	42	5	99	1
Fondo	0.03	8	1	100	0	7	1	100	0	5	1	100	0
Total		831.00	100			833	100			833.36	100		

Tabla 61: Ensayo Granulométrico del Agregado grueso. (Propia)

Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
		(g)				(g)				(g)			
N°1 1/2"	31.50	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N°1"	25.00	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N°3/4"	19.00	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N°1/2"	12.50	47	6	6	94	46	5	5	95	48	6	6	96
N°3/8"	9.50	379	38	44	58	383	39	44	56	380	38	44	56
N°4	4.75	479	50	94	6	478	49	93	7	479	49	94	6
N°8	2.36	57	6	99	1	57	6	99	1	57	6	100	0
Fondo	0.00	5	1	100	0	6	1	100	0	4	0	100	0
Total		967	100			971	100			968	100		

Tabla 62: Media, Variación, desviación estándar para granulometría del Agregado Fino. (Propia)

Tamiz	Abertura (mm)	Promedio de % que pasa	Varianza	Desviación Estándar (%)	Desviación estándar (%)	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C136	Límite Inferior ASTM C136	Límite Superior ASTM C136
N°3/4"	19	0.5	0	0	0	0	100	100
N°1/2"	12.5	100	0	0	0	0	100	100
N°3/8"	9.5	100	0	0	0	0	100	100
N°4	4.75	98	0.2	0.45	0.26	0.86	95	100
N°8	2.36	92	0.49	0.7	(0.55)	1.82	80	100
N°16	1.18	77	1.31	1.14	0.55	1.82	50	85
N°30	0.6	50	1.9	1.38	0.83	2.74	25	60
N°50	0.3	24	3.59	1.9	0.83	2.74	10	30
N°100	0.15	5	0.83	0.91	0.37	1.22	2	10
N°200	0.08	0	0.09	0.3	0.14	0.46	0	0
Fondo	0	0						

Tabla 63: Media, Variación, desviación estándar para granulometría del Agregado grueso. (Propia)

Tamiz	Abertura (mm)	Promedio de % que pasa	Varianza	Desviación Estándar	Desviación estándar (%)	Rango aceptable para tres resultados ASTM C670 (%)	Límite Inferior ASTM C136	Límite Superior ASTM C136
N°1 1/2"	19.00	100	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
N°1"	12.50	100	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
N°3/4"	9.50	100	0.00	0.00	0.32	1.06	100	100
N°1/2"	4.75	95	3.94	1.99	1.32	4.36	90	100
N°3/8"	2.36	56	2.51	1.58	1.00	3.30	40	70
N°4	1.18	6	0.27	0.52	0.27	0.89	0	15
N°8	0.60	1	0.01	0.10	0.00	0.00	0	5
Fondo	0.30	0	1.10	1.05				

Humedad de los agregados

Tabla 64: Ensayo Humedad de los agregados. (Propia)

Muestra	Código	Tara (g)	Tara + muestra natural (g)	Tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g)	Peso de la muestra seca (g)	Humedad (%)
					(Ph)	(Ps)	
Agregado Fino	F1	95.2	390.6	389.0	295.4	293.8	0.5
	F2	95.8	391.6	390.0	295.8	294.2	0.5
	F3	94.6	392.6	391.0	298.1	296.4	0.6
Promedio							0.6
Agregado grueso	G1	44.6	197.4	197.0	152.8	152.4	0.3
	G2	41.8	220.4	220.0	178.6	178.2	0.2
	G3	41.6	176.3	176.0	134.7	134.4	0.3
Promedio							0.3

Tabla 65: Media, Variación, desviación estándar para Humedad de los agregados. (Propia)

Agregado	Humedad Promedio (%)	Varianza	Desviación Estándar (%)	Desviación estándar NTP 339.185	Rango aceptable para tres resultados (%) NTP 339.185
Agregado Fino	0.5	0.00	0.01	0.28	0.79
Agregado Grueso	0.2	0.00	0.03		

Peso Suelto y Compactado

Tabla 66: Ensayo Peso Suelto y Compactado de los agregados. (Propia)

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	Peso de la muestra compac. + molde (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suuelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
Agregado fino	F1	6.0990	9.7810	10.1030	3.6820	4.0040	0.0021	1726	1876
	F2	6.0990	9.7580	10.2090	3.6590	4.1100		1715	1926
	F3	6.0990	9.6600	10.1110	3.5610	4.0120		1669	1880
Promedio								1703	1894
Agregado Grueso	G1	6.0990	9.0630	9.5200	2.9640	3.4210	0.0021	1389	1603
	G2	6.0990	9.1110	9.4680	3.0120	3.3690		1412	1579
	G3	6.0990	9.1050	9.5390	3.0060	3.4400		1409	1612
Promedio								1403	1598

Tabla 67: Media, Variación, desviación estándar para Peso Suelto y Compactado de los agregados. (Propia).

Ensayos	Agregados	Peso Unitario Promedio (kg/m ³)	Varianza	Desviación Estándar (kg/m ³)	Desviación estándar (kg/m ³) NTP 400.017	Rango aceptable para tres resultados (kg/m ³) NTP 400.017
Peso unitario suelto	A Fino	1703	906.85	30.11	14.00	40.00
	A Grueso	1403	150.23	12.26		
Peso unitario compactado	A Fino	1894	765.19	27.66	14.00	40.00
	A Grueso	1598	296.72	17.23		

Peso Específico

Tabla 68: Ensayo Peso Específico del agregado fino. (Propia)

Muestra	Código	Peso seco (g)	Peso de fiola lleno de agua (g)	Peso de fiola +agua +muestra (g)	Peso de la muestra saturada (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
		A	B	C	S				
Agregado Fino	F1	459.22	673.12	963.48	641.35	1308	1827	2720	1.3
	F2	454.89	673.12	971.27	638.54	1336	1876	2902	1.7
	F3	444.75	673.12	959.59	618.35	1340	1863	2810	1.5
Promedio						1328	1855	2811	1.5

Tabla 69: Media, Variación, desviación estándar para Peso Específico del agregado fino. (Propia).

Ensayos	Resultados Promedio (kg/m ³)	Varianza	Desviación Estándar (kg/m ³)	Desviación estándar (kg/m ³) NTP 400.022	Rango aceptable para tres resultados (kg/m ³) NTP 400.022
Densidad (s) (kg/m ³)	1328	301.04	17.35	11.00	13.00
Densidad (sss) (kg/m ³)	1855	636.41	25.23	9.50	27.00
Densidad Aparente (kg/m ³)	2811	8341.82	91.33	9.50	27.00
Absorción (%)	1.5	0.03	0.17	0.11	0.31

Tabla 70: Ensayo Peso Específico del agregado grueso. (Propia)

Muestra	Código	Peso seca (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
Agregado Grueso	G1	302	310	188	2475	2541	2649	2.6
	G2	323	329	199	2485	2531	2605	1.9
	G3	325	332	203	2519	2574	2664	2.2
Promedio					2493	2548	2639	2.2

Tabla 71: Media, Variación, desviación estándar para Peso Específico del agregado grueso. (Propia).

Ensayos	Resultados Promedio (kg/m ³)	Varianza	Desviación Estándar (kg/m ³)	Desviación estándar (kg/m ³) NTP 400.021	Rango aceptable para tres resultados (kg/m ³) NTP 400.021
Densidad (s) (kg/m ³)	2493	537.78	23.19	9.00	25.00
Densidad (sss) (kg/m ³)	2548	501.53	22.39	7.00	20.00
Densidad Aparente (kg/m ³)	2639	945.31	30.75	7.00	20.00
Absorción (%)	2.2	0.16	0.40	No presenta	No presenta

Equivalente Arena

Tabla 72: Ensayo Equivalente Arena del agregado fino. (Propia)

Muestra	código	Altura de arcilla		Altura de arena		Equivalente de arena (%)
		Pulg.	Cm.	Pulg.	Cm.	
Arena	M 1	5.0	12.7	4	10.16	80
	M 2	4.9	12.45	4.1	10.41	83.67
	M3	5.1	12.95	3.9	9.91	76.47
Promedio						80.05

Ensayo de Abrasión

Tabla 73: Ensayo de abrasión del agregado grueso. (Propia)

Parámetros	Agregado Grueso		
	m1	m2	m3
A = Peso Tara (grs)	137	137	137
B = P. Muestra Seca + P. Tara (grs)	5115	5115	5115
C= P. Muestra Tamiz N°12 + P. Tara (grs)	4349	4249	4250
Pa = (B-A): P. Muestra Seca (grs)	4978	4978	4988
Pb = (C-A): P. Muestra Tamiz N° 12 (grs)	4212	4112	4113
% de Desgaste = $(Pa-Pb)/Pa \times 100$	18	19	20
Desgaste promedio (%)	19		

APÉNDICE 2: Resultados de los ensayos

Ensayo de Trabajabilidad

Tabla 74: Ensayo de asentamiento. (Propia)

Mezclas	Porcentajes	Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio	
		cm	in	cm	in	cm	in	cm	in
% de Óxido de Calcio	Patrón sp	8.89	3 1/2	7.62	3	8.26	3 1/4	8.26	3 1/4
	n0=0% cp	20.96	8 1/4	21.59	8 1/2	22.23	8 3/4	21.59	8 1/2
	n1=1% cp	19.69	7 3/4	20.96	8 1/4	20.32	8	20.32	8
	n2=2% cp	17.15	6 3/4	15.88	6 1/4	16.51	6 1/2	16.51	6 1/2
	n3=3% cp	12.70	5	13.34	5 1/4	13.97	5 1/2	13.34	5 1/4
	n4=4% cp	10.80	4 1/4	11.43	4 1/2	10.16	4	10.80	4 1/4
	n5=5% cp	6.35	2 1/2	6.99	2 3/4	5.72	2 1/4	6.35	2 1/2
	n6=6% cp	3.18	1 1/4	3.81	1 1/2	4.45	1 3/4	3.81	1 1/2

Tabla 75: Media, Variación, desviación estándar para Ensayo de asentamiento. (Propia).

Porcentajes	Media		Varianza	Desviación Estándar (in)	Desviación estándar (in) ASTM C143	Rango aceptable para cuatro resultados (in) ASTM C143
	in	cm				
Patrón sp	3 1/4	8.26	0.06	0.25	0.38	1.37
n0=0% cp	8 1/2	21.59	0.06	0.25	0.40	1.44
n1=1% cp	8	20.32	0.06	0.25	0.40	1.44
n2=2% cp	6 1/2	16.51	0.06	0.25	0.40	1.44
n3=3% cp	5 1/4	13.34	0.06	0.25	0.40	1.44
n4=4% cp	4 1/4	10.80	0.06	0.25	0.40	1.44
n5=5% cp	2 1/2	6.35	0.06	0.25	0.40	1.44
n6=6% cp	1 1/2	3.81	0.06	0.25	0.40	1.44

Ensayo de Tiempo de Fraguado

Tabla 76: Ensayo de tiempo de fraguado. (Propia)

Tiempos	Tiempo (min)	Carga (libras)	N° Aguja	Área		Peso (gr)	Resistencia a penetración (lb/pulg ²)
				(pulg ²)	(cm ²)		
Mezcla patrón si aditivo							
00:00	0	0	1	1	6.45	200.5	0
00:30	210	200	1	1	6.45	200.5	200
01:00	240	130	2	1/2	3.23	136.5	260
01:30	270	122	3	1/4	1.61	104.5	488
02:00	300	92	4	1/10	0.65	82.5	920
02:30	330	80	5	1/20	0.32	74.5	1600
03:00	360	50	6	1/40	0.16	70.5	2000
0% con aditivo							
00:00	0	0	1	1	6.45	200.5	0
00:30	210	200	1	1	6.45	200.5	200
01:00	240	92	2	1/2	3.23	136.5	184
01:30	270	76	3	1/4	1.61	104.5	304
02:00	300	70	4	1/10	0.65	82.5	700
02:30	330	70	5	1/20	0.32	74.5	1400
03:00	360	64	6	1/40	0.16	70.5	2560
1% con aditivo							
00:00	0	0	1	1	6.45	200.5	0
00:30	210	200	1	1	6.45	200.5	200
01:00	240	100	2	1/2	3.23	136.5	200
01:30	270	104	3	1/4	1.61	104.5	416
02:00	300	102	4	1/10	0.65	82.5	1020
02:30	330	70	5	1/20	0.32	74.5	1400
03:00	360	50	6	1/40	0.16	70.5	2000
2% con aditivo							
00:00	0	0	1	1	6.45	200.5	0
00:30	210	200	1	1	6.45	200.5	200
01:00	240	106	2	1/2	3.23	136.5	212
01:30	270	92	3	1/4	1.61	104.5	368
02:00	300	114	4	1/10	0.65	82.5	1140
02:30	330	66	5	1/20	0.32	74.5	1320
03:00	360	74	6	1/40	0.16	70.5	2960

Tiempos	Tiempo (min)	Carga (libras)	N° Aguja	Área		Peso (gr)	Resistencia a penetración (lb/pulg ²)
				(pulg ²)	(cm ²)		
3% con aditivo							
00:00	0	0	1	1	6.45	200.5	0
00:30	210	200	1	1	6.45	200.5	200
01:00	240	160	2	1/2	3.23	136.5	320
01:30	270	180	3	1/4	1.61	104.5	720
02:00	300	112	4	1/10	0.65	82.5	1120
02:30	330	100	5	1/20	0.32	74.5	2000
03:00	360	96	6	1/40	0.16	70.5	3840
4% con aditivo							
00:00	0	0	1	1	6.45	200.5	0
00:30	210	200	1	1	6.45	200.5	200
01:00	240	152	2	1/2	3.23	136.5	304
01:30	270	130	3	1/4	1.61	104.5	520
02:00	300	140	4	1/10	0.65	82.5	1400
02:30	330	80	5	1/20	0.32	74.5	1600
03:00	360	92	6	1/40	0.16	70.5	3680
5% con aditivo							
00:00	0	0	1	1	6.45	200.5	0
00:30	210	200	1	1	6.45	200.5	200
01:00	240	150	2	1/2	3.23	136.5	300
01:30	270	142	3	1/4	1.61	104.5	568
02:00	300	126	4	1/10	0.65	82.5	1260
02:30	330	104	5	1/20	0.32	74.5	2080
03:00	360	80	6	1/40	0.16	70.5	3200
6% con aditivo							
00:00	0	0	1	1	6.45	200.5	0
00:30	210	200	1	1	6.45	200.5	200
01:00	240	96	2	1/2	3.23	136.5	192
01:30	270	82	3	1/4	1.61	104.5	328
02:00	300	86	4	1/10	0.65	82.5	860
02:30	330	74	5	1/20	0.32	74.5	1480
03:00	360	80	6	1/40	0.16	70.5	3200

Tabla 77: Media, Variación, desviación estándar para Tiempo de fraguado Inicial. (Propia).

Mezclas	Porcentajes	Tiempo inicial (mim)	Varianza	Desviación Estándar (mim)	Rango aceptable de tres resultados (mim) ASTM C403
% de Óxido de Calcio	Patrón sp	258.25	27.73	5.27	11.40
	n0=0% cp	282.00	12.75	3.57	
	n1=1% cp	267.62	28.41	5.33	
	n2=2% cp	264.23	27.05	5.20	
	n3=3% cp	260.53	16.86	4.11	
	n4=4% cp	256.61	5.70	2.39	
	n5=5% cp	257.32	15.09	3.88	
	n6=6% cp	265.81	26.22	5.12	

Tabla 78: Media, Variación, desviación estándar para Tiempo de fraguado final. (Propia).

Mezclas	Porcentajes	Tiempo final (mim)	Varianza	Desviación Estándar (mim)	Rango aceptable de tres resultados (mim) ASTM C403
% de Óxido de Calcio	Patrón sp	402.21	13.66	3.70	14.60
	n0=0% cp	422.12	27.42	5.24	
	n1=1% cp	410.84	15.81	3.98	
	n2=2% cp	390.94	25.05	5.01	
	n3=3% cp	379.73	51.95	7.21	
	n4=4% cp	375.52	9.74	3.12	
	n5=5% cp	376.63	23.30	4.83	
	n6=6% cp	387.95	37.65	6.14	

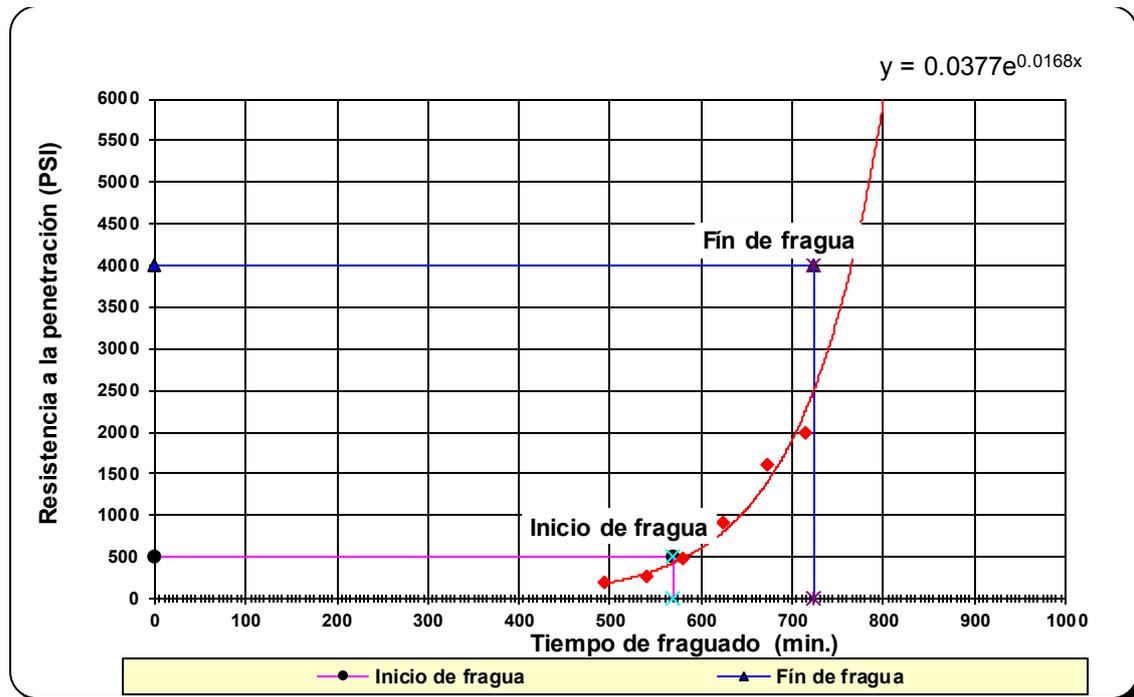


Figura N° 32: Resistencia a la penetración de muestra patrón (Propia)

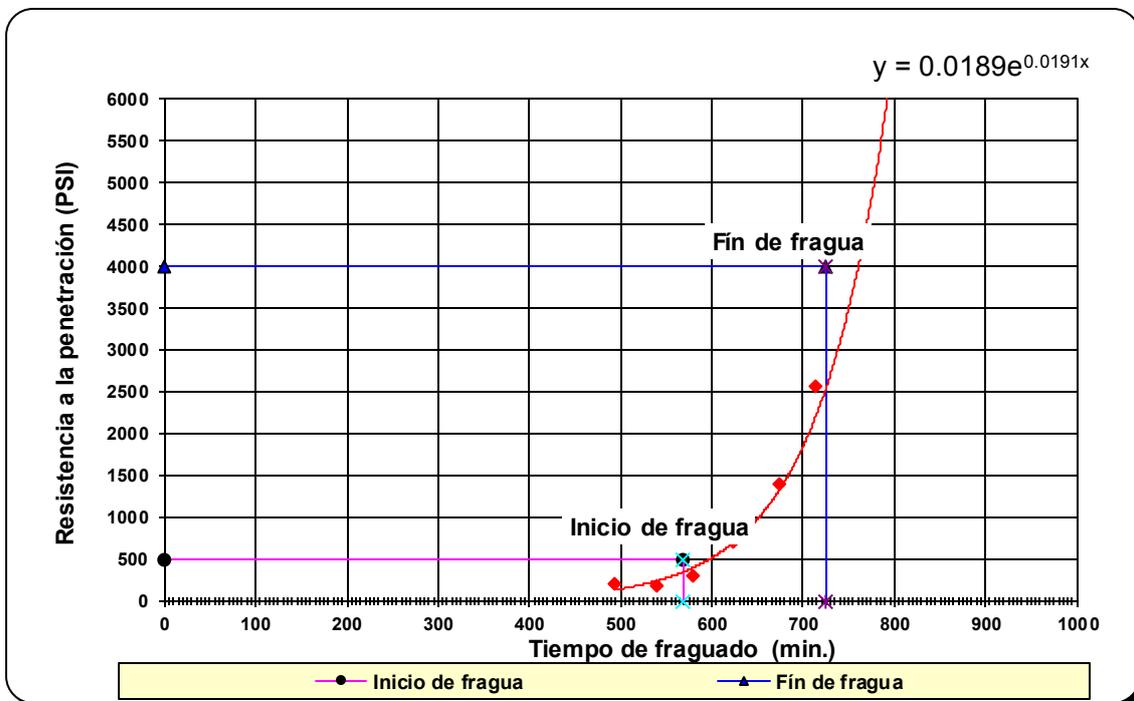


Figura N° 33: Resistencia a la penetración de muestra patrón con súperplastificante (Propia)

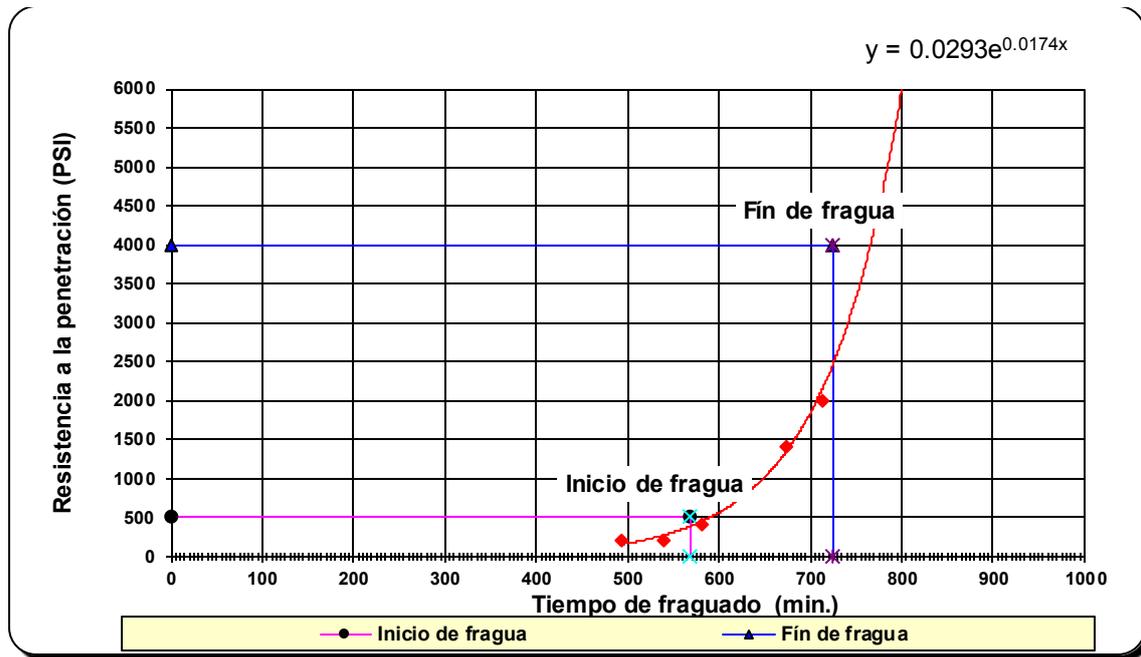


Figura N° 34: Resistencia a la penetración de muestra con súperplastificante y 1% de adición (Propia)

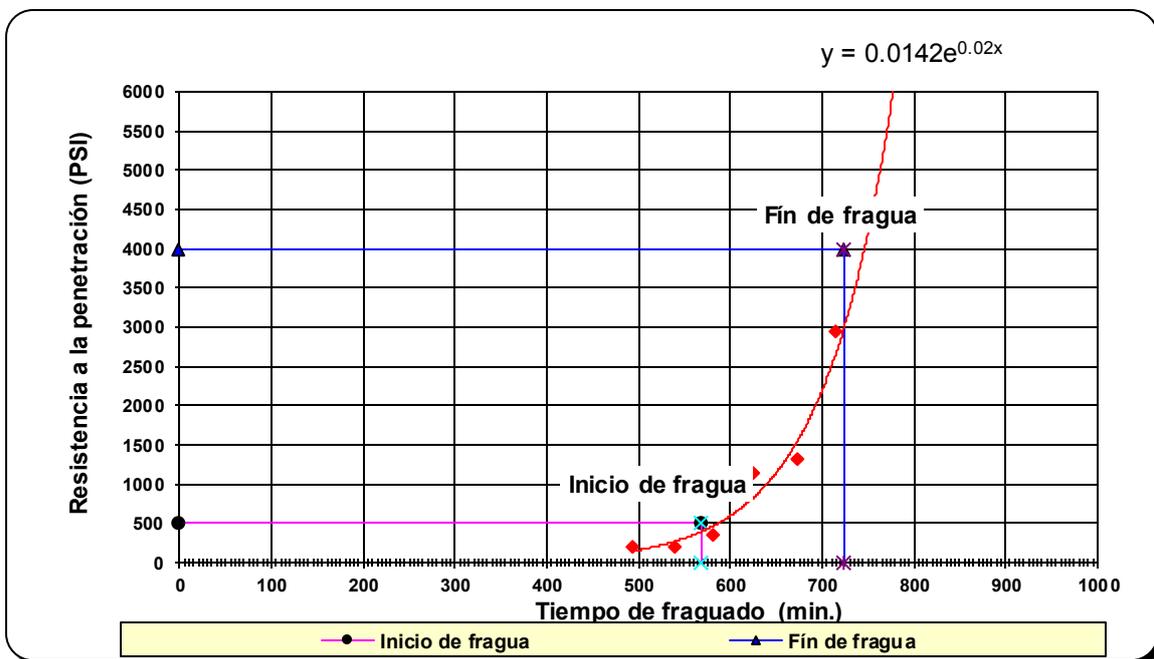


Figura N° 35: Resistencia a la penetración de muestra con súperplastificante y 2% de adición (Propia)



Figura N° 36: Resistencia a la penetración de muestra con súperplastificante y 3% de adición (Propia)

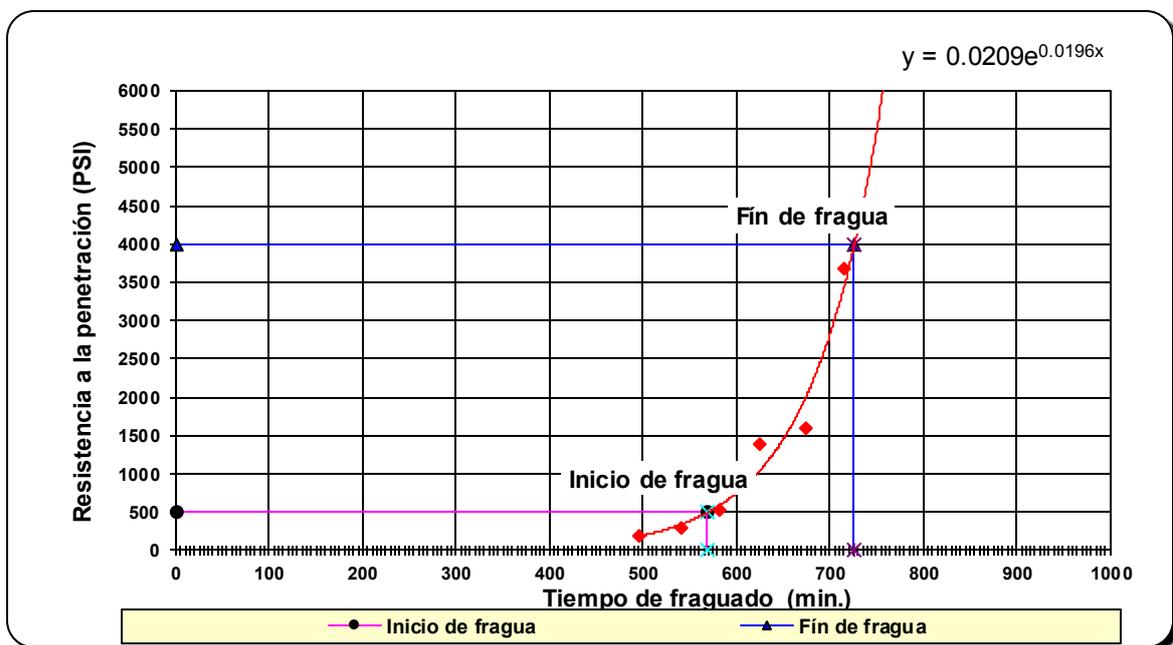


Figura N° 37: Resistencia a la penetración de muestra con súperplastificante y 4% de adición (Propia)

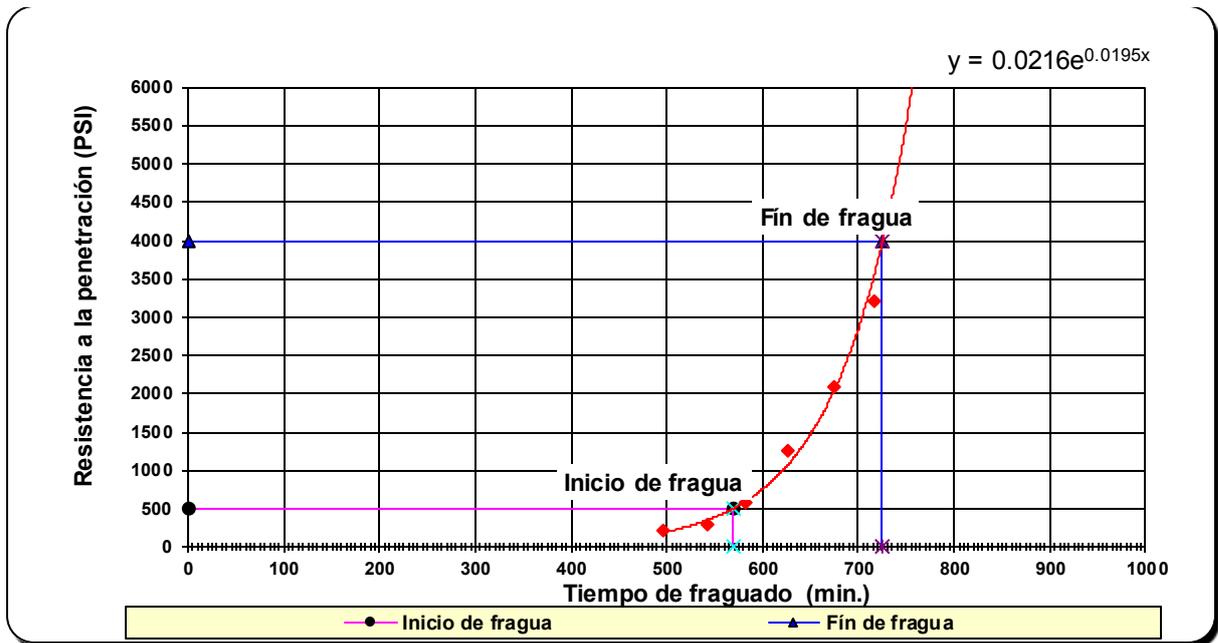


Figura N° 38: Resistencia a la penetración de muestra con súperplastificante y 5% de adición (Propia)

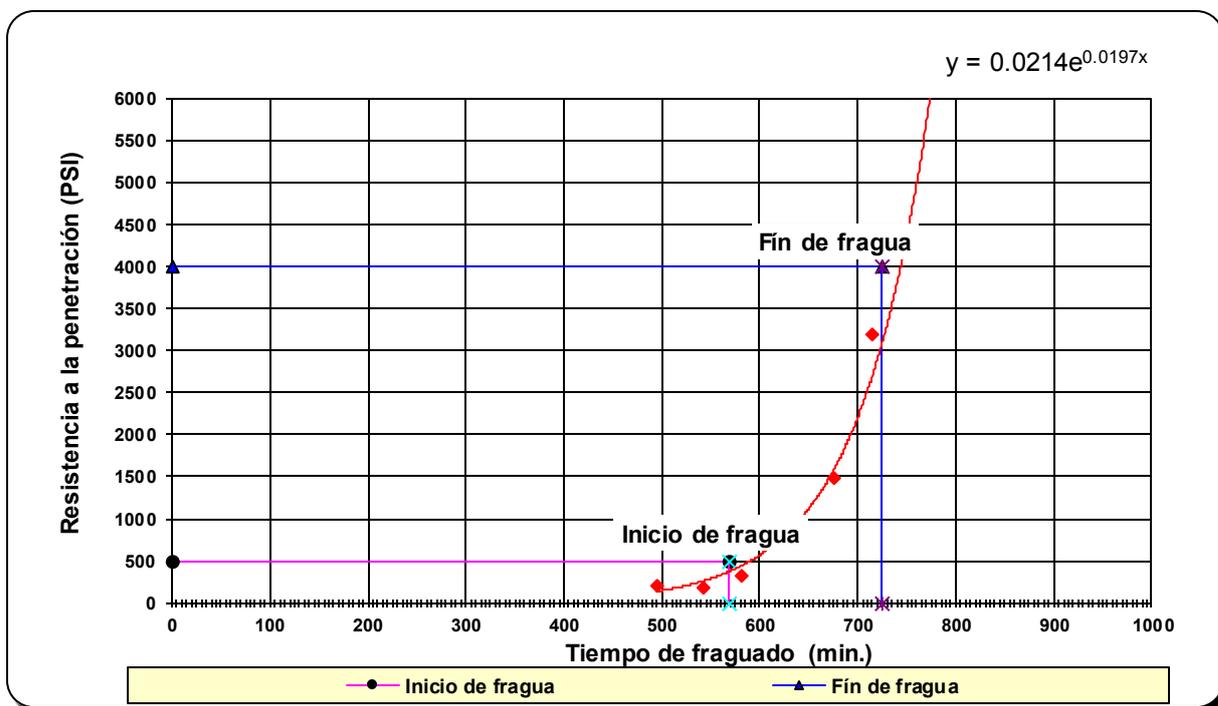


Figura N° 39: Resistencia a la penetración de muestra con súperplastificante y 6% de adición (Propia)

Resistencia a compresión

Tabla 79: Ensayo de Resistencia a compresión. (Propia)

% de Óxido de Calcio	Probeta	Dimensiones		Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia Promedio (Kg/cm ²)
		L (mm)	D (mm)				
Patrón sp	A11	202.7	101.19	8037.94	235.60	30.00	301
	A12	203.1	101.1	8023.65	237.40	30.23	
	A13	202.4	101.06	8017.30	237.00	30.17	
n0=0% cp	A21	203.2	101.09	8026.13	242.30	30.85	309
	A22	203.3	101.12	8030.90	243.30	30.98	
	A23	202.8	101.13	8032.48	241.80	30.79	
n1=1% cp	A31	203.2	101.15	8035.66	244.60	31.14	312
	A32	203.8	101.13	8032.48	245.70	31.28	
	A33	202.6	101.06	8021.37	245.10	31.21	
n2=2% cp	A41	203.5	101.19	8042.02	264.00	33.62	337
	A42	202.3	101.13	8032.48	263.80	33.59	
	A43	203.8	101.11	8029.31	265.20	33.76	
n3=3% cp	A51	202.6	101.58	8104.13	268.00	34.12	341
	A52	203.2	101.55	8099.34	267.20	34.03	
	A53	203.1	101.6	8107.32	267.80	34.10	
n4=4% cp	A61	203.5	101.05	8019.78	279.90	35.64	353
	A62	203.2	101.23	8048.38	275.30	35.06	
	A63	203.3	101.92	8158.47	276.40	35.19	
n5=5% cp	A71	203.4	100.88	7992.82	263.20	33.51	335
	A72	203.6	101.27	8054.74	262.70	33.45	
	A73	203.8	101.48	8088.18	263.10	33.50	
n6=6% cp	A81	203.7	101.11	8029.31	254.00	32.34	324
	A82	203.1	101.24	8049.97	254.40	32.39	
	A83	203.2	101.22	8046.79	255.50	32.53	

Tabla 80: Media, Variación, desviación estándar para Resistencia a compresión. (Propia).

Porcentajes	Media (Kg/cm ²)	Varianza	Desviación Estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (Kg/cm ²) ASTM C39	Rango aceptable para cuatro resultados (Kg/cm ²) ASTM C39
Patrón sp	302.00	2.33	1.53	3.20	11.52
n0=0% cp	309.00	0.93	0.97		
n1=1% cp	312.00	0.61	0.78		
n2=2% cp	337.00	1.26	1.12		
n3=3% cp	341.00	0.16	0.40		
n4=4% cp	353.00	27.26	5.22		
n5=5% cp	335.00	4.45	2.11		
n6=6% cp	325.00	0.22	0.47		

Densidad

Tabla 81: Ensayo de Densidad. (Propia)

% de Óxido de Calcio	Probeta	Peso saturado (kg)	Peso sumergido (kg)	Peso seco (kg)	Absorción (%)	Porosidad (%)	Densidad (kg/m ³)
Patrón sp	A11	3.82	2.23	3.57	7.2	16.1	2234
	A12	3.82	2.22	3.56	7.3	16.2	2228
	A13	3.85	2.24	3.59	7.1	15.8	2230
n0=0% cp	A21	3.84	2.24	3.60	6.5	14.6	2263
	A22	3.82	2.23	3.59	6.3	14.2	2260
	A23	3.84	2.24	3.64	5.7	12.9	2269
n1=1% cp	A81	3.85	2.24	3.69	4.4	10.0	2299
	A82	3.84	2.24	3.64	5.4	12.3	2284
	A83	3.82	2.24	3.63	5.2	11.9	2293
n2=2% cp	A31	3.85	2.24	3.72	3.5	8.2	2314
	A32	3.77	2.18	3.69	2.2	5.0	2320
	A33	3.83	2.25	3.68	4.3	9.9	2319
n3=3% cp	A71	3.79	2.21	3.72	2.0	4.6	2351
	A72	3.80	2.22	3.73	1.9	4.5	2357
	A73	3.84	2.25	3.76	2.1	5.0	2362
n4=4% cp	A41	3.80	2.22	3.74	1.4	3.4	2367
	A42	3.82	2.24	3.76	1.7	4.0	2368
	A43	3.78	2.21	3.72	1.5	3.6	2364
n5=5% cp	A51	3.81	2.22	3.75	1.7	4.0	2352
	A52	3.83	2.24	3.77	1.8	4.1	2361
	A53	3.81	2.22	3.74	1.9	4.4	2360
n6=6% cp	A61	3.84	2.24	3.73	2.8	6.5	2343
	A62	3.76	2.18	3.70	1.5	3.5	2345
	A63	3.85	2.25	3.76	2.4	5.7	2348

ANEXOS

ANEXO 1: Panel Fotográfico

	
<p>Figura N° 40: Muestra de hueso sin calcinar para ensayo TGA y DTA. (Propia)</p>	<p>Figura N° 41: Pre-Calcinación de huesos. (Propia)</p>
	
<p>Figura N° 42: Trituración de huesos calcinados. (Propia)</p>	<p>Figura N° 43: Molienda de huesos en máquina los ángeles. (Propia)</p>



Figura N° 44: Molienda de huesos en molino de bolas. (Propia)



Figura N° 45: Tamizado de huesos calcinados. (Propia)



Figura N° 46: Calcinación de huesos a 750°C. (Propia)



Figura N° 47: Obtención del óxido de calcio. (Propia)



Figura N° 48: Ensayo granulométrico del agregado fino. (Propia)



Figura N° 49: Contenido de humedad del agregado fino. (Propia)



Figura N° 50: Secado de las muestras en la estufa. (Propia)



Figura N° 51: Peso suelto y compactado del agregado grueso. (Propia)



Figura N° 52: Densidad y absorción del agregado fino. (Propia)



Figura N° 49: Ensayo equivalente arena. (Propia)



Figura N° 53: Medición de Ph. (Propia)



Figura N° 54: Medición de salinidad, conductividad y sólidos suspendidos. (Propia)



Figura N° 55: Elaboración de mezcla de concreto. (Propia)



Figura N° 56: Ensayo de trabajabilidad. (Propia)



Figura N° 57: Asentamiento de mezcla patrón con plastificante. (Propia)



Figura N° 58: Resistencia a la penetración del concreto. (Propia)



Figura N° 59: Curado de probetas. (Propia)



Figura N° 60: Probetas a 28 días. (Propia)



Figura N° 61: Peso saturado de la probeta. (Propia)



Figura N° 62: Secado al horno de las probetas. (Propia)



Figura N° 63: Peso seco de la probeta. (Propia)



Figura N° 64: Refrendado de las probetas. (Propia)



Figura N° 65: Ensayo de resistencia a compresión. (Propia)



Figura N° 66: Falla de las probetas. (Propia)

ANEXO 2: Ficha técnica del aditivo súper plastificante



Sika® ViscoCrete®-3330

Aditivo superplastificante de alto rango para climas fríos

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un superplastificante de tercera generación para concretos y morteros. Ideal para climas fríos y/o se necesita altas resistencias a tempranas edades.

USOS

- Es adecuado para la producción de concreto en obra y concreto pre-mezclado.
- Se usa para los siguientes tipos de concreto:
 - Concreto pre-fabricado.
 - Acelera la fragua del concreto.
 - Para concretos de pavimentos tipos Fast Track, concretos de pronta puesta en servicio.
 - Concreto para climas fríos.
 - Concreto con alta reducción de agua (hasta 30%)
 - Es adecuado para concreto bajo agua, sistemas Tremie. (la relación agua material cementante debe ser entre 0.30 a 0.45)
 - Concreto de alta resistencia.
 - Concreto autocompactante.
- El alto poder reductor de agua, la excelente fluidez y el corto tiempo de fraguado con altas resistencias tempranas tienen una influencia positiva en las aplicaciones antes mencionadas

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Sika® ViscoCrete®-3330 actúa por diferentes mecanismos. Gracias a la absorción superficial y el efecto de separación espacial sobre las partículas de cemento (paralelos al proceso de hidratación) se obtienen las siguientes propiedades:

- Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia)
- Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- Adecuado para la producción de concreto autocompactante.
- Incrementa las altas resistencias iniciales (producción de prefabricados)
- Alta impermeabilidad
- Menor relación agua – cemento la impermeabilidad.
- Aumenta la durabilidad del concreto.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduce la exudación y segregación. ▪ Aumenta la cohesión del concreto. ▪ Aumenta la adherencia entre el concreto y el acero. ▪ Comportamiento mejorado de contracción y deslizamiento. ▪ Reduce la carbonatación del concreto <p>Sika® ViscoCrete®-3330 no contiene cloruros ni otros ingredientes que promuevan la corrosión del acero. Por lo tanto, puede usarse sin restricciones en construcciones de concreto reforzado y pre-tensado.</p>
NORMAS	ESTÁNDARES Cumple con la norma ASTM C-494 tipo G y ASTM C-1017
DATOS BÁSICOS	
FORMA	<p>ASPECTO Líquido</p> <p>COLORES Marrón claro a marrón oscuro.</p> <p>PRESENTACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Granel x 1 L ▪ Cilindro x 200 L ▪ Dispenser x 1,000 L
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL 1 año a partir de la fecha de producción, en su envase original y sin abrir, protegido de la luz directa del sol y de las heladas, a temperaturas entre 5 °C y 35 °C.
DATOS TÉCNICOS	<p>DENSIDAD 1.07 Kg/L ± 0.01</p> <p>USGBC VALORACIÓN LEED</p> <p>Sika® ViscoCrete®-3330 cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants. Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)</p>

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS <ul style="list-style-type: none"> ▪ Para concretos plásticos suaves: 0,4 % - 1 % del peso del cemento. ▪ Para concretos fluidos y autocompactantes: 1 % - 2 % del peso del cemento.
MÉTODO DE APLICACIÓN	<p>MODO DE EMPLEO Como plastificante o superplastificante: Sika® ViscoCrete®-3330 se agrega al agua de amasado o junto con el agua a la mezcladora de concreto. Para un aprovechamiento óptimo de la alta capacidad de reducción de agua, recomendamos un mezclado cuidadoso durante 60 segundos como mínimo. Para evitar la exudación en el concreto y lograr la consistencia deseada, el agua restante de la mezcla recién se añadirá cuando hayan transcurrido 40 segundos del tiempo de mezclado. El uso de Sika® ViscoCrete®-3330 garantiza un concreto de la más alta calidad. Sin embargo, también en el caso del concreto preparado con Sika® ViscoCrete®-3330 debe cumplirse con las normas estándar para la buena producción y colocación de concretos.</p>

ANEXO 3: Ficha técnica del cemento portland tipo I



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia No.150 Urb. El Viviro de Montero Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 965 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 517 - 6800



SOC-REG-06-G0002
Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclavo	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3770	Mínimo 2800
Finosidad	g/mL	3.12	NO ESPECÍFICA

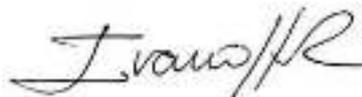
Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 28 días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (300)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (Kg/cm ²)	45.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 280)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mencionados, corresponden al promedio del cemento descompactado durante el período del 01-06-2016 al 30-06-2016.
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016.
(*) Requisito especial.



Ing. Ivanoff V. Rojas Tello
Superintendente de Control de Calidad

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

Este statement garantiza la reproducción total o parcial de este documento en la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

ANEXO 4: Ficha técnica de microsílíce RHEOMACSF100



RHEOMAC® SF100

Aditivo mineral, microsílíce compactada

DESCRIPCION

RHEOMAC SF100 es un aditivo mineral de microsílíce compactada en polvo formulado para producir concreto o mortero extremadamente fuerte y durable con características especiales de desempeño. Maximiza la vida de uso del concreto proporcionando una resistencia superior al ataque de elementos ambientales dañinos. Cumple con los requerimientos de la especificación ASTM C 1240 "Especificación Estándar para Microsílíce usada en Concreto y Mortero para Cemento Hidráulico"

USOS RECOMENDADOS

- Estructuras de concreto reforzado con acero o aplicaciones de shotcrete vía húmeda expuestas a sales para deshielo o del aire.
- Estructuras de estacionamiento, puentes, estructuras marinas, minas y túneles
- Cualquier proyecto de construcción que requiera la protección que da un concreto altamente durable y de baja permeabilidad
- Proyectos que requieran un concreto de alta resistencia/ alto desempeño para reducir el tamaño del elemento, incrementar la longitud del tramo, mejorar los costos estructurales y cumplir otros requerimientos estructurales de alto desempeño.

CARACTERÍSTICAS

- Mayor cohesividad
- Menor exudación
- Desempeño mejorado

BENEFICIOS

- Mayor vida útil

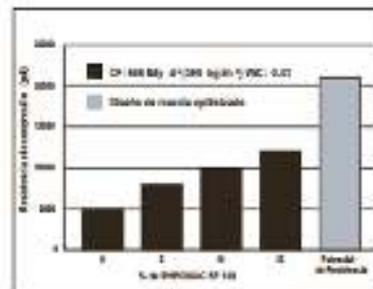
- Mayor resistencia y módulo de elasticidad
- Menor permeabilidad aumentando la durabilidad
- Mayor resistencia a los sulfatos
- Mejor resistencia a la reactividad de sílice alcalina

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

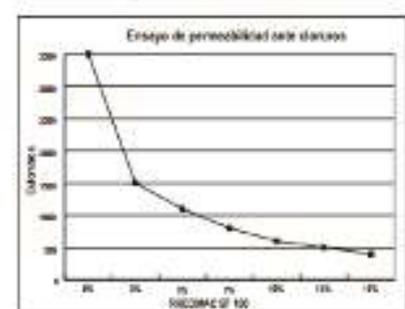
Permeabilidad

RHEOMAC SF 100 es un material de micro-llenado que físicamente llena los espacios entre las partículas de cemento; disminuye dramáticamente la permeabilidad y reduce el tamaño y número de capilares que permiten la entrada de contaminantes a la matriz.

Ensayo sobre resistencia a la compresión típica



Permeabilidad rápida ante cloruros



Resistencias a Compresión

Siendo una pozoilana, la microsílíce RHEOMAC SF 100 reacciona químicamente dentro de la matriz cementicia para incrementar la cantidad del silicato de calcio hidratado (gel CSH) que se forma. El gel de CSH es el aglutinante adherente que mantiene unida la matriz de una mezcla cementicia en su estado endurecido. El gel adicional de CSH incrementa la resistencia y disminuye la permeabilidad.

Gravedad específica

RHEOMAC® SF 100 tiene una gravedad específica de 2.2.



The Chemical Company

APLICACION

Dosificación

Se recomienda usar RHEOMAC SF100 para aplicaciones de concreto o concreto lanzado vía húmeda en un rango de dosificación de 5 a 15% por peso de material cementicio.

Mezclado

Para el concreto y shotcrete por vía húmeda, RHEOMAC SF100 se dosifica y adiciona en la planta productora de cemento en forma similar al cemento u otros materiales cementicios como son las cenizas voladoras. Puede adicionarse a una mezcladora central o del camión. Siga el procedimiento indicado en la especificación ASTM C 94, Especificación Estándar para Concreto Premezclado o haga referencia a la Guía del Usuario para Concretos con RHEOMAC SF 100 para instrucciones especiales de dosificación y mezclado.

RECOMENDACIONES

Corrosividad

No contiene Cloruros, No Corrosivo

El aditivo de microsilíce RHEOMAC SF100 no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado embebido en el concreto o mortero. Ni el cloruro de calcio ni otros ingredientes con cloruros son usados en la manufactura de RHEOMAC SF 100.

Compatibilidad

RHEOMACSF100 puede usarse con los cementos Portland aprobados de conformidad con las especificaciones ASTM, AASHTO o CRD.

Es compatible con la mayoría de los aditivos para concreto, incluyendo todos los aditivos de BASF Construction Chemicals. Se recomienda usar RHEOMAC SF100 con aditivos reductores de agua de alto rango como de la línea GLENIUM para obtener una máxima manejabilidad a la vez de mantener una baja relación agua:materiales cementicios.

ALMACENAMIENTO

RHEOMAC SF100 tiene una vida útil de 24 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor. El material envasado puede almacenarse indefinidamente en un área seca.

RHEOMAC SF100 se almacena, maneja y surte en forma similar al cemento o cenizas voladoras. Puede almacenarse en silos cuando está a granel. Refiérase a la Guía del Usuario de Concreto con Microsilíce RHEOMAC SF 100 cuando requiera información sobre el ajuste adecuado para el bombeo y manejo de microsilíce dentro de los silos.

EMPAQUE

RHEOMAC SF100 se suministra en sacos triturables de 11.8 kg (25 lb), super sacos de 907 kg (2000 lb) o a granel.

SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

Para información adicional sobre este producto, consulte a su representante local de BASF.

BASF Construction Chemicals es líder en el suministro de aditivos innovadores para concreto de especialidad usado en los mercados de premezclado, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y pavimentos. Los productos de la respetada marca Master Builders se usan para mejorar la colocación, bombeabilidad, acabado, estética y características de desempeño del concreto.

ANEXO 5: Certificado de ensayos DTA y TG de hueso bovino



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Polímeros

INFORMEN°45 - AGO 17

CERTIFICADO DE ENSAYO TERMOGRAVIMÉTRICO Y ENSAYO CALORÍMETRO DIFERENCIAL DE BARRIDO DE HUESO DE ORIGEN BOVINO

Solicitante: Adriana Jesús Durand Ciudad-Universidad Privada del Norte

Tesis: *"Influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales, Trujillo 2017"*

DNI: 73273466

Asesor: Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

1. **MUESTRA:** Hueso bovino

N° de muestra	Código	Cantidad de Muestra	Procedencia
01	H-16	16 mg	Origen bovino

2. **ENSAYOS A APLICAR**

- Ensayo termogravimétrico TG
- Ensayo calorímetro diferencial de barrido DTA

3. **EQUIPOS EMPLEADOS Y CONDICIONES**

- Analizador Térmico simultáneo TG_DTA_DSC Cap. Máx: 1600°C SetSys_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765
- Tasa de calentamiento: 20°C/min.
- Gas de Trabajo – Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 - 800° C
- Masa de muestra analizada: 16 mg

Jefe de Laboratorio:

Ing. Danny Chávez Novoa

Trujillo, 20 de Agosto del 2017

ANEXO 6: Certificado de ensayos realizados en la Universidad Nacional de Trujillo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Concreto

INFORMEN°052 - OCT05

CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

Solicitante: Adriana Jesús Durand Ciudad-Universidad Privada del Norte
Tesis: "Influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales, Trujillo 2017"
DNI: 73273466
Asesor: Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

1. MUESTRA:

Especímenes:

40 probetas cilíndricas de 10cm de diámetro por 20cm de largo
 24 mezclas de concreto de 22kg

Edad de Especímenes: 28 días

Muestreo: realizado por tesista

2. ENSAYOS A APLICAR

- a. **NTP 339.183:** Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto NTP 339.183 (ASTM C31)
- b. **NTP 339.037:** Refrendado de testigos cilíndricos de concreto NTP 339.037 (ASTM C192)
- c. **NTP 339.034:** Ensayo de Resistencia a Compresión NTP 339.034 (ASTM C39)
- d. **NTP 339.035:** Ensayo de Asentamiento del concreto con cono de Abrams NTP 339.035 (ASTM C143)
- e. **ASTM 642:** Medición de densidad, absorción y porosidad

3. PARÁMETROS DEL EQUIPO: Se considera un error de $\pm 0.5\%$

Modo	Unidades	Velocidad de Carga
Mode I: Compresión	SI	5.30 KN/seg

4. PARÁMETROS DE LAS MUESTRAS

Fecha de conformación	Fecha de rotura	Estructura	Tiempo de curado
		Concreto estructural con óxido de calcio	28 días

Jefe de Laboratorio:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo, 05 de Octubre del 2017

ANEXO 7: Certificado de ensayos realizados en la Universidad Privada del Norte



NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 400.012

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado
fino, grueso y global

AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates

R.0071-2001/INDECOPI-CRT Publicada el 2001-06-17

Precio basado en 14 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis granulométrico

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

NTP 400.017

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle De La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso
unitario del agregado**

AGGREGATE. Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate

R.0021-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 99-04-29

Precio basado en 10 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Hormigón, Método de ensayo, Probetas cilíndricas, curado de la probeta

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

NTP 400.019

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-(INDECOPI)
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles

AGGREGATES. Standard test method for resistance to degradation of small size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine

R.0007-2002/INDECOPI-CRT. Publicada el 2002-01-09

Precio basado en 9 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Abrasión, agregado (grueso, tamaños menores), degradación, impacto, máquina de Los Angeles



**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

NTP 400.021

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso
específico y absorción del agregado grueso**

AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate

R.0048-2002/INDECOPI-CRT Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 06 paginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptorios: absorción, agregado, agregado grueso, peso específico

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

NTP 400.022

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

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

AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of fine aggregate

R.0048-2002/INDECOPI-CRT.Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 05 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Absorción, agregado, agregado fino, peso específico

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCTORES: COMERCIO CANARIO CURTEA S.A. SUCURSAL PERÚ

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

NTP 400.037

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para
agregados en hormigón (concreto)**

AGGREGATES. Standard specification for concrete aggregates

R.0013-2002/INDECOPI-CRT. Publicada el 2002-02-27

Precio basado en 14 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Agregados, hormigón, requisitos

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCCIONES E INGENIERO CAMARDO CORREA S.A. SUCURSAL PERU



Designation: C143/C143M – 10

Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C143/C143M, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope²

1.1 This test method covers determination of slump of hydraulic-cement concrete, both in the laboratory and in the field.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.³)

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards⁴

C31/C31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

C138/C138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete

C172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete

C173/C173M Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method

C231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method

C670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

3. Summary of Test Method

3.1 A sample of freshly mixed concrete is placed and compacted by rodding in a mold shaped as the frustum of a cone. The mold is raised, and the concrete allowed to subside. The vertical distance between the original and displaced position of the center of the top surface of the concrete is measured and reported as the slump of the concrete.

4. Significance and Use

4.1 This test method is intended to provide the user with a procedure to determine slump of plastic hydraulic-cement concretes.

Note 1—This test method was originally developed to provide a technique to monitor the consistency of unhardened concrete. Under laboratory conditions, with strict control of all concrete materials, the slump is generally found to increase proportionally with the water content of a given concrete mixture, and thus to be inversely related to concrete strength. Under field conditions, however, such a strength relationship is not clearly and consistently shown. Care should therefore be taken in relating slump results obtained under field conditions to strength.

4.2 This test method is considered applicable to plastic concrete having coarse aggregate up to 1½ in. [37.5 mm] in size. If the coarse aggregate is larger than 1½ in. [37.5 mm] in size, the test method is applicable when it is performed on the fraction of concrete passing a 1½-in. [37.5-mm] sieve, with the larger aggregate being removed in accordance with the section titled "Additional Procedure for Large Maximum Size Aggregate Concrete" in Practice C172.

4.3 This test method is not considered applicable to non-plastic and non-cohesive concrete.

Note 2—Concretes having slumps less than ½ in. [13 mm] may not be adequately plastic and concretes having slumps greater than about 9 in.

¹A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright (C) ASTM International, 100 Barr Harbor Dr., PO Box C-708, West Conshohocken, Pennsylvania 19380-2028, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Nov 8 00:27:51 EST 2010

Downloaded/printed by

King Mongkut Univ of Tech N, Bangkok pursuant to License Agreement. No further reproduction authorized.

**NORMA
TÉCNICA
GUATEMALTECA**

**COGUANOR
NTG 41017 h12**

**Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado de
mezclas de concreto por su resistencia a la penetración.**

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM
C403/C403M-08, en la cual está basada e incluye la designación
propia de las normas técnicas Guatemaltecas.

Aprobada: 2013-03-08

Adoptada Consejo Nacional de Normalización:



Comisión Guatemalteca de Normas
Ministerio de Economía

Edificio Centro Nacional de Metrología Referencia
Calzada Atanasio Azul 27-32, zona 12
Teléfonos: (502) 2247-2600
Fax: (502) 2247-2687
www.mineco.gob.gt
info-coguanor@mail.mineco.gob.gt

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

**NTP 339.033
2009**

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

**HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la
elaboración y curado de especímenes de concreto en campo**

CONCRETE. Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 31/C 31M-2008b Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

**2009-08-26
3ª Edición**



Designation: C 642 – 06

Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 642; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determinations of density, percent absorption, and percent voids in hardened concrete.

1.2 The text of this test method references notes and footnotes which provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this standard.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

2. Significance and Use

2.1 This test method is useful in developing the data required for conversions between mass and volume for concrete. It can be used to determine conformance with specifications for concrete and to show differences from place to place within a mass of concrete.

3. Apparatus

3.1 *Balance*, sensitive to 0.025 % of the mass of the specimen.

3.2 *Container*, suitable for immersing the specimen and suitable wire for suspending the specimen in water.

4. Test Specimen

4.1 Whenever possible, the sample shall consist of several individual portions of concrete, each to be tested separately. The individual portions may be pieces of cylinders, cores, or beams of any desired shape or size, except that the volume of each portion shall be not less than 350 cm³ (or for normal weight concrete, approximately 800 g); and each portion shall be free from observable cracks, fissures, or shattered edges.

5. Procedure

5.1 *Oven-Dry Mass*—Determine the mass of the portions, and dry in an oven at a temperature of 100 to 110 °C for not less than 24 h. After removing each specimen from the oven, allow it to cool in dry air (preferably in a desiccator) to a

temperature of 20 to 25 °C and determine the mass. If the specimen was comparatively dry when its mass was first determined, and the second mass closely agrees with the first, consider it dry. If the specimen was wet when its mass was first determined, place it in the oven for a second drying treatment of 24 h and again determine the mass. If the third value checks the second, consider the specimen dry. In case of any doubt, redry the specimen for 24-h periods until check values of mass are obtained. If the difference between values obtained from two successive values of mass exceeds 0.5 % of the lesser value, return the specimens to the oven for an additional 24-h drying period, and repeat the procedure until the difference between any two successive values is less than 0.5 % of the lowest value obtained. Designate this last value *A*.

5.2 *Saturated Mass After Immersion*—Immerse the specimen, after final drying, cooling, and determination of mass, in water at approximately 21 °C for not less than 48 h and until two successive values of mass of the surface-dried sample at intervals of 24 h show an increase in mass of less than 0.5 % of the larger value. Surface-dry the specimen by removing surface moisture with a towel, and determine the mass. Designate the final surface-dry mass after immersion *B*.

5.3 *Saturated Mass After Boiling*—Place the specimen, processed as described in 5.2, in a suitable receptacle, covered with tap water, and boil for 5 h. Allow it to cool by natural loss of heat for not less than 14 h to a final temperature of 20 to 25 °C. Remove the surface moisture with a towel and determine the mass of the specimen. Designate the soaked, boiled, surface-dried mass *C*.

5.4 *Immersed Apparent Mass*—Suspend the specimen, after immersion and boiling, by a wire and determine the apparent mass in water. Designate this apparent mass *D*.

6. Calculation

6.1 By using the values for mass determined in accordance with the procedures described in Section 5, make the following calculations:

$$\text{Absorption after immersion, \%} = [(B - A)/A] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Absorption after immersion and boiling, \%} = [(C - A)/A] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Bulk density, dry} = [A/(C - D)]_p = \rho_s \quad (3)$$

$$\text{Bulk density after immersion} = [B/(C - D)]_p \quad (4)$$

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2929, United States.

ASTM International
100 Bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19380-2929
All rights reserved. No part of this standard may be reproduced without permission from ASTM.

ASTM
Copyright © ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19380-2929
All rights reserved. No part of this standard may be reproduced without permission from ASTM.



Designation: C 39/C 39M – 05^{1,2}

Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation C 39/C 39M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

¹ Norm—Note 1 was corrected editorially in September 2006.

² Norm—Removal research report footnote from Section 10 editorially in October 2006.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of compressive strength of cylindrical concrete specimens such as molded cylinders and drilled cores. It is limited to concrete having a unit weight in excess of 50 lb/ft³ [800 kg/m³].

1.2 The values stated in either inch-pound or SI units are to be regarded separately as standard. The SI units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Means should be provided to contain concrete fragments during sudden rupture of specimens. Tendency for sudden rupture increases with increasing concrete strength and it is more likely when the testing machine is relatively flexible. The safety precautions given in the Manual of Aggregate and Concrete Testing are recommended.)*

1.4 The text of this standard references notes which provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards²

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.01 on Testing for Strength.

Current edition approved Nov. 1, 2005. Published November 2005. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2004 as C 39C 39M – 04a.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

C 31A/C 31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

C 42C 42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

C 192C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

C 873 Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation

C 1231/C 1231M Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines

Manual of Aggregate and Concrete Testing

3. Summary of Test Method

3.1 This test method consists of applying a compressive axial load to molded cylinders or cores at a rate which is within a prescribed range until failure occurs. The compressive strength of the specimen is calculated by dividing the maximum load attained during the test by the cross-sectional area of the specimen.

4. Significance and Use

4.1 Care must be exercised in the interpretation of the significance of compressive strength determinations by this test method since strength is not a fundamental or intrinsic property of concrete made from given materials. Values obtained will depend on the size and shape of the specimen, batching, mixing

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States.

© ASTM International
1100 19th Avenue, Suite 400, West Conshohocken, PA 19380-2900
Member of International Consortium of Standards from 1990

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
TRUJILLO, PERÚ
TEL: 051 51 820 0000