

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Escuela académico profesional de Ingeniería Civil

**PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE
F´C=17.5 MPa Y F´C=21.0 MPa CON LA
INCORPORACIÓN DE ESPELEOTEMA (SHINCA),
COMO REEMPLAZO DEL 50% Y 100% DEL
AGREGADO GRUESO-CHURIN-2019.**

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

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

MEZA BELTRAN, JIMY HAROLD

ASESOR:

Ing. SILVA LINDO MARCO ANTONIO

Huaraz – Ancash - Perú

2023





**UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



REGISTRO	
LIBRO	FOLIO
01	306

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 302

En la ciudad de Huaraz, al (a los) 26 día (s) del mes de

SETIEMBRE del DOS MIL VEINTITRES, siendo las 11:00 horas, se reunieron el

Jurado Evaluador integrado por:

PRESIDENTE : Ing. DANILO ENRIQUE MONTORO VERGARA
 PRIMER MIEMBRO : Ing. JULIO CESAR CORAL JAMANCA
 SEGUNDO MIEMBRO : Mag. RICHARD ALBERTO DEPAZ BLACIDO

Para proceder al Acto de Sustentación para optar el Título Profesional de INGENIERO(A) CIVIL, bajo la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional, del (de la) Bachiller

MEZA BELTRAN JIMY HAROLD

(de la Tesis) - (del Trabajo de suficiencia profesional) titulada:

"PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO F'C=17.5 MPa Y F'C=21.0 MPa CON LA INCORPORACIÓN DE ESPELEOTEMA (SHINCA), COMO REEMPLAZO DEL 50% Y 100% DEL AGREGADO GRUESO-CHURIN-2019".

desarrollada bajo el asesoramiento de:

ASESOR : Dr. MARCO ANTONIO SILVA LINDO
 CO - ASESOR : -----

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil; se procedió a recepcionar la exposición del aspirante; luego de las interrogantes, objeciones y, aclaraciones y su absolución, el Jurado Evaluador determinó la calificación de:

APROBADO —

Siendo las 12:00 horas del mismo día, se dio por concluido el Acto de Sustentación, firmando la presente por triplicado, en señal de conformidad.

PRESIDENTE

Ing. DANILO ENRIQUE MONTORO VERGARA

PRIMER MIEMBRO
 Ing. JULIO CESAR CORAL JAMANCA

SEGUNDO MIEMBRO
 Mag. RICHARD ALBERTO DEPAZ BLACIDO

ASESOR
 Dr. MARCO ANTONIO SILVA LINDO

CO - ASESOR

SUSTENTANTE
 MEZA BELTRAN JIMY HAROLD



Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1

INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

"PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO $f_b = 17.5 \text{ MPa}$ y $f'_c = 21.0 \text{ MPa}$ CON LA INCORPORACIÓN DE ESPELEOTEMA (SHINIA), COMO REEMPLAZO DEL 50% Y 100% DEL AGREGADO GRUESO - CHURIN - 2019."

Presentado por:

JIMY HAROLD MEZA BELTRAN

con DNI N°:

70123421

para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : 19.7% de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pregrado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 19/08/2023


 FIRMA

Apellidos y Nombres:

SILVA LINDO MARCO ANTONIO

DNI N°:

31621028

Se adjunta:

Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS JIMY MEZA 13.06.2023.pdf

AUTOR

Jimmy Meza

RECUENTO DE PALABRAS

29638 Words

RECUENTO DE CARACTERES

152988 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

227 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

15.0MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 18, 2023 12:09 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Aug 18, 2023 12:14 AM GMT-5**● 19% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 16% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Bloques de texto excluidos manualmente

Dedicatoria

A Dios por darme la vida y concederme el tiempo necesario para realizar mis sueños, haberme dado una buena familia, amigos que siempre están a mi lado.

A mi madre por darme su cariño, amor y comprensión, por la motivación constante que me ha permitido alcanzar mis sueños más anhelados.

A mi padre por el constante apoyo e inmenso amor.

A mi hermana, por ser un ejemplo de disciplina y perseverancia.

A mi enamorada, por sus consejos y el gran apoyo incondicional para que yo pueda cumplir las metas trazadas.

El autor

Agradecimiento

A Dios

Por guiarme en un buen camino.

A mi familia

Por el apoyo, motivación no solo durante el desarrollo de esta tesis, sino en todo el transcurso de mi vida estudiantil.

A la Facultad de Ingeniería Civil

Por la formación brindada.

Al ingeniero:

Silva Lindo Marco Antonio.

Por el apoyo brindado en el desarrollo de la tesis.

Por su tiempo, experiencia y consejos brindados

Índice

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
LISTA DE TABLAS	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPITULO I.	15
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos.....	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. HIPÓTESIS Y VARIABLES	20
1.4.1. Hipótesis	20
1.4.2. Variables.....	20
1.5. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	21
1.6. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	23
1.6.1. Objetivo general	23
1.6.2. Objetivo específico	24
CAPITULO II.	25
MARCO TEORICO	25
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.1.1. Categoría internacional.....	25
2.1.2. Categoría Nacional	26
2.2. BASES TEÓRICAS	28
2.2.1. Concreto	28
2.2.2. Componentes del concreto	29
2.2.2.1. Cemento.....	29
2.2.2.2. Agregados	32
2.2.2.3. Agua.....	40
2.2.3. Espeleotema.....	42
2.2.4. Diseño de mezcla.....	45
2.2.4.1. Pasos para el proporcionamiento	46
2.2.5. Resistencia a la compresión.....	56

2.2.5.1. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, muestras cilíndricas	57
2.2.6. Resistencia a la flexión	58
CAPITULO III.....	60
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	60
3.1. PERSPECTIVA METODOLÓGICA	60
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	61
3.5. MUESTRA.....	61
3.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE DATOS	62
3.6.1. Técnicas de recolección de datos.....	62
3.6.2. Análisis de datos	63
3.7. MÉTODOS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS.....	63
3.7.1. Obtención de los agregados	63
3.7.2. Determinación de las propiedades y características de los agregados	66
3.7.3. Diseño de mezcla empleando el método del comité ACI 211	78
3.7.4. Elaboración de testigos	100
3.7.4.1. Colocación de mezcla de concreto en los moldes para ensayos de resistencia a la compresión.....	101
3.7.4.2. Colocación de mezcla de concreto en los moldes para ensayos de resistencia a la flexión	103
3.7.5. Ensayos de resistencia a la compresión del concreto.....	104
3.7.6. Ensayos de resistencia a la flexión del concreto	106
CAPITULO IV.....	108
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	108
4.1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ESPELEOTEMA.....	109
4.2. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO $F'c=17.5$ MPa Y $F'c=21.0$ MPa.....	110
4.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO $F'c=17.5$ MPa Y $F'c=21.0$ MPa	116
4.3.1. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto $f'c=17.5$ MPa	116
4.3.2. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto $f'c=21.0$ MPa	120
4.3.3. Ensayo de resistencia a la flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa	123
4.3.4. Ensayo de resistencia a la flexión del concreto $f'c=21.0$ MPa	126
4.4. CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	130
CONCLUSIONES.....	138
RECOMENDACIONES.....	140
ANEXOS	144

Lista de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	21
Tabla 2 Parámetros del cemento desde el enfoque químico.....	31
Tabla 3 Parámetros del cemento desde el enfoque físico.....	32
Tabla 4 Rangos granulométricos del árido fino sobre límites según tamiz.....	36
Tabla 5 Límites granulométricos del agregado grueso.....	37
Tabla 6 Minerales reactivos con álcalis de cemento	38
Tabla 7 Muestra representativa de los agregados.....	39
Tabla 8 Límites máximos de sustancias perjudiciales del árido grueso y fino.....	40
Tabla 9 Resistencia a la compresión promedio	47
Tabla 10 Resistencia de seguridad para el diseño	47
Tabla 11 Slump máximo y mínimo (Asentamientos recomendados) para estructuras	48
Tabla 12 Agua requerida para la mezcla con y sin contenido de aire	49
Tabla 13 Contenido volumétrico de agua de mezcla.....	50
Tabla 14 Factores de relación agua/cemento del diseño del concreto.....	51
Tabla 15 Factor máximo de relación agua/cemento para concretos.....	52
Tabla 16 Factor de volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto	53
Tabla 17 Resistencia mínima a la compresión axial del concreto	57
Tabla 18 Cantidades de especímenes según ensayo (población y muestra)	62
Tabla 19 Técnicas de recolección de datos	63
Tabla 20 Ubicación geográfica de la cantera Rumillama - Nava	64
Tabla 21 Ubicación geográfica de la cantera Urb. San Juan de Churin	65
Tabla 22 Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino y agregado grueso (Patrón).....	71
Tabla 23 Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino y agregado grueso (50% Agregado – 50% espeleotema).	72
Tabla 24 Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino y agregado grueso (100% espeleotema).....	72
Tabla 25 Resumen general de Peso unitario agregado grueso (Patrón)	73
Tabla 26 Peso unitario agregado grueso (50% Agregado – 50% espeleotema)	74
Tabla 27 Peso unitario agregado grueso (100% espeleotema)	74

Tabla 28 Peso unitario agregado fino unitario suelto y compactado.....	76
Tabla 29 Contenido de humedad agregado grueso (Patrón).....	77
Tabla 30 Contenido de humedad agregado grueso (50% Agregado – 50% espeleotema).....	77
Tabla 31 Contenido de humedad agregado grueso (100% espeleotema).....	78
Tabla 32 Contenido de humedad agregado fino.....	78
Tabla 33 Parámetros de propiedades del agregado fino y agregado grueso (Patrón), $f'c=17.5$ MPa.....	79
Tabla 34 Resumen de propiedades del agregado fino y agregado grueso (50% AGN- 50% ESP.), $f'c=17.5$ MPa	82
Tabla 35 Resumen de Propiedades del Agregado fino y grueso (100% espeleotema), $f'c=17.5$ MPa.....	86
Tabla 36 Resumen de propiedades del agregado fino y grueso (patrón), $f'c=21.0$ MPa	89
Tabla 37 Resumen de Propiedades del agregado fino y grueso (50% agre.-50% esp.), $f'c= 21$ MPa.....	93
Tabla 38 Resumen de propiedades del agregado fino y grueso (100% espeleotema), $f'c=21.0$ MPa.....	96
Tabla 39 Resumen de las propiedades físicas del espeleotema	109
Tabla 40 Cantidad de materiales para diseño patrón ($f'c = 17.5$ MPa)	111
Tabla 41 Cantidad de materiales para diseño 50% AGN – 50% ESP ($f'c = 17.5$ MPa).....	112
Tabla 42 Cantidad de materiales para diseño 100% espeleotema ($f'c = 17.5$ MPa).....	113
Tabla 43 Cantidad de materiales para diseño patrón ($f'c = 21.0$ MPa)	114
Tabla 44 Cantidad de materiales para diseño 50% agregado – 50% espeleotema ($f'c$ $= 21.0$ MPa).....	115
Tabla 45 Cantidad de materiales para diseño 100% espeleotema ($f'c = 21.0$ MPa).....	116
Tabla 46 Conformación de grupos de resultados de $f'c$ según el porcentaje de espeleotema, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.....	131
Tabla 47 Cálculo de varianza por cada grupo conformado, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa	131
Tabla 48 Cálculo de valor crítico y teórico para el análisis de varianza de grupos conformados, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.....	131

Tabla 49 Conformación de grupos de resultados de $f'c$ según el porcentaje de espeleotema, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.....	132
Tabla 50 Cálculo de varianza por cada grupo conformado, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa	133
Tabla 51 Cálculo de valor crítico y teórico para el análisis de varianza de grupos conformados, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.....	133
Tabla 52 Conformación de grupos de resultados de Mr' según el porcentaje de espeleotema, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.....	134
Tabla 53 Cálculo de varianza por cada grupo conformado, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa	134
Tabla 54 Cálculo de valor crítico y teórico para el análisis de varianza de grupos conformados, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.....	135
Tabla 55 Conformación de grupos de resultados de Mr' según el porcentaje de espeleotema, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.....	136
Tabla 56 Cálculo de varianza por cada grupo conformado, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa	136
Tabla 57 Cálculo de valor crítico y teórico para el análisis de varianza de grupos conformados, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.....	136

Lista de figuras

Figura 1 Localidad de Churin	17
Figura 2 Estrato de espeleotema.....	18
Figura 3 Ubicación de la cantera Rumillama - Nava	64
Figura 4 Ubicación de la cantera Urb. San Juan de Churin	65
Figura 5 Proceso de extracción del espeleotema.....	66
Figura 6 Análisis granulométrico por tamizado para el Agregado grueso (Patrón) .	67
Figura 7 Análisis granulométrico por tamizado (50% AGN -50% ESP.).....	68
Figura 8 Análisis Granulométrico por Tamizado (100% ESP.).....	68
Figura 9 Análisis granulométrico por tamizado para el agregado fino	69
Figura 10 Selección del agregado grueso y fino	100
Figura 11 Selección del espeleotema	101
Figura 12 Realizando mezcla de concreto con agreg. naturales y espeleotema	101
Figura 13 Vaciado de mezcla de concretos en moldes cilíndricos	102
Figura 14 Vaciado de mezcla en 3 capas iguales en los moldes cilíndricos	102
Figura 15 Enumeración y curado de probetas cilíndricas	103
Figura 16 Vaciado de mezcla de concreto en moldes rectangulares	103
Figura 17 Vaciado de mezcla en 3 capas iguales en los moldes rectangulares	104
Figura 18 Enumeración y curado de probetas rectangulares.....	104
Figura 19 Preparación de probetas y equipos para realizar los ensayos.....	105
Figura 20 Ensayos de resistencia a la compresión del concreto.....	106
Figura 21 Ensayos de resistencia a la flexión del concreto	107
Figura 22 Resistencia a la compresión del concreto $f'c=17.5$ MPa a edad 7 Días .	117
Figura 23 Resistencia a la compresión del concreto $f'c=17.5$ MPa a edad 28 días	118
Figura 24 Resistencia a la compresión vs edades, $F'c=17.5$ MPa.....	119
Figura 25 Resistencia a la compresión del concreto $f'c=21.0$ MPa a edad 7 días ..	120
Figura 26 Resistencia a la compresión del concreto $f'c=21.0$ MPa a edad 28 díasx	121
Figura 27 Resistencia a la compresión vs edades, $f'c=21.0$ MPa.....	122
Figura 28 Resistencia a la flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa a edad 7 días.....	124
Figura 29 Resistencia a la flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa a edad 28 días	125
Figura 30 Resistencia a la flexión vs edades, $f'c=17.5$ MPa.....	126

Figura 31 Resistencia a la flexión del concreto $f'_c=21.0$ MPa a edad 7 días	127
Figura 32 Resistencia a la flexión del concreto $f'_c=21.0$ MPa a edad 28 días	128
Figura 33 Resistencia a la flexión vs edades, $f'_c=21.0$ MPa	129
Figura 34 Región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, I	132
Figura 35 Región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, II	133
Figura 36 Región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, III	135
Figura 37 Región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, IV	136

Resumen

Esta tesis responde y expone las características mecánicas de concretos de diseño $f'_c=17.5$ MPa y $f'_c=21.0$ MPa con la incorporación de espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso. Para esto, proveniente de una parcela se ha empleado espeleotema de la superficie del suelo de San Juan (Urbanización de Churin), el cual fue triturado inicialmente para transformarlo en agregado grueso y hacer uso en este estudio. El procedimiento de la ejecución de la tesis, procedió con ensayos de las características mecánicas y físicas del agregado grueso, fino y espeleotema natural, cumpliendo a cabalidad las NTP. Obteniendo estos parámetros se continuó con diseñar las proporciones de la mezcla de concreto tanto para 17.5 MPa y 21.0 MPa de resistencia, experimentando la sustitución en % porcentajes de 50% y 100% de espeleotema sobre el agregado grueso natural; con aquel diseño se elaboraron 120 probetas ensayadas a edades de curación de 7 y 28 días. Con lo anterior se determinó la capacidad a la resistencia axial a la compresión y la flexión del hormigón de 17.5 MPa y 21.0 MPa con la incorporación del espeleotema como reemplazo del agregado grueso natural en un porcentaje de 50% y 100%. Entonces, respecto a los resultados hallados se presentan una maximización de resistencia de diseño f'_c , por lo que aumenta una buena resistencia axial en compresión y flexión expresada en módulo de rotura con porcentajes de espeleotema. Finalmente, se concluye que el espeleotema si incide en las propiedades físicas mecánicas del hormigón, como en la capacidad a la resistencia a la compresión y flexión.

Palabras Clave: Resistencia a la compresión del concreto, resistencia a la flexión del concreto, espeleotema como agregado, propiedades mecánicas del concreto.

Abstract

This thesis responds and exposes the mechanical characteristics of design concrete $f'_c=17.5$ MPa and $f'_c=21.0$ MPa with the incorporation of speleothem, as a replacement of 50% and 100% of the coarse aggregate. For this, speleothem from the soil surface of San Juan (Churin Urbanization) has been used from a plot, which was initially crushed to transform it into coarse aggregate and make use of it in this study. The procedure of the execution of the thesis, proceeded with tests of the mechanical and physical characteristics of the coarse, fine aggregate and natural speleothem, fully complying with the NTP. Obtaining these parameters, we continued with designing the proportions of the concrete mixture for both 17.5 MPa and 21.0 MPa of resistance, experimenting with the substitution in percentages of 50% and 100% of speleothem on the natural coarse aggregate; With that design, 120 test tubes were prepared at healing ages of 7 and 28 days. With the above, the capacity to axial resistance to compression and flexion of concrete of 17.5 MPa and 21.0 MPa was determined with the incorporation of the speleothem as a replacement of the natural coarse aggregate in a percentage of 50% and 100%. Then, with respect to the results found, a maximization of design resistance f'_c is presented, which increases a good axial resistance in compression and flexion expressed in modulus of rupture with percentages of speleothem. Finally, it is concluded that the speleothem does affect the mechanical physical properties of the concrete, as well as its ability to resist compression and bending.

Key Words: Compressive strength of concrete, flexural strength of concrete, speleothem as aggregate, mechanical properties of concrete.

Introducción

El espeleotema es proveniente de la formación de las cavidades, está relacionado específicamente a lugares donde se formado áreas naturales de volúmenes de minerales de baja importancia con mayor presencia en la población de Churin, los mismos que en su mayoría están ubicados en la superficie del suelo por poseer abundante agua termal.

El uso del espeleotema incorporado en procesos y reemplazo del agregado natural de finura gruesa, con el fin principal de obtener resultados en la búsqueda de su correcto uso y adecuado es parte del campo investigativo; con esto, su aporte como nuevo avance en la búsqueda como nuevo material innovador y natural en el área de construcción y materiales. La alternativa del uso del espeleotema en el concreto generaría la protección de la naturaleza, donde se puede preservar los diferentes ambientes en las que se pretende proteger; además, la población no se vea afectado al atraso en sus construcciones al tener muchas apariciones de espeleotema en las diversas superficies casuales del suelo y además de no contar con canteras de agregado grueso cerca a la población.

Para poder utilizar espeleotema dentro de la preparación y elaboración de concreto, nos permite conocer a profundidad su impacto dentro de las principales características físico mecánicas del concreto, y es donde yace la finalidad de esta investigación.

En la tesis presente, donde se quiere medir la incidencia en las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación de espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del árido grueso se ejecutaron los estudios mediante ensayos correspondientemente basados en los procedimientos

normados en la NTP (norma técnica peruana). Donde se analizó el porcentaje de humedad de los áridos, la granulometría de estos, peso específico de masa, absorción, peso seco unitario suelto y peso seco compactado, también se ejecutaron correspondientemente los diseños de mezcla con el reemplazo en proporción porcentual de espleotema para concretos de concreto de $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa.



CAPITULO I.

Planteamiento de la investigación

1.1. Situación problemática

En los últimos años, la apertura a nuevos materiales de construcción y tecnologías, además de nanotecnologías, se ha hecho presente. Entre estos, aquellos que se logran dentro de la tecnología del concreto. Donde se busca poseer mejoras en las diversas propiedades o características cuantificables físicas del hormigón (concreto) como la durabilidad, resistencia a la compresión, flexión y tracción, resistencia a la variedad de climas en los diversos territorios, etc. Además, el crecimiento de su utilidad, yace como menciona el Instituto del Cemento y del Concretos (2000), en el buen comportamiento ambiental, durabilidad y el costo de materiales.

Teniendo la importancia del uso del concreto o hormigón como principal compuesto en el sector de la construcción, este podría elaborarse con varios componentes por experimentar, realizando el reemplazo a alguno de estos, por otros que podrían mejorar sus capacidades o propiedades ya conocidas. Es en este punto, donde minerales secundarios hallados como agentes contaminantes y como desperdicios podrían representar bajo la experimentación, como componentes nuevos en la elaboración del concreto.

Ante lo mencionado, el espeleotema, es un mineral secundario, formado en diversas zonas de filtración de aguas termales o cavernas tras la génesis (Medina, 2014). Este material se puede encontrar en Churin, aquel que se encuentra a 2265 m.s.n.m y tiene como capital a el distrito de Pachangara, localizado dentro de la provincia de Oyon, a 207 Km en la región Lima con dirección noreste del centro de Lima. Además, el área, se halla focalizada “cuenca del rio Huaura”, y se localiza dentro de la cordillera de los andes a 5000 m.s.n.m. en la vertiente occidental.

En el lugar, existen abundantes aguas termales que han sido direccionados a la creación de baños termo medicinales, donde se encuentra cubiertos por espeleotema a nivel de la superficie del suelo ocasionando problemas en las actividades principales como: ganadera y agricultura, ocasionando la eliminación creciente de la biodiversidad y la acabadora desaparición de plantas y animales de diferentes diversidades y/o la migración de estas nombradas a otros espacios. Por otro lado, el espeleotema más común proveniente de tubos de lava son estafilitos, estalagmitas de lava, concreciones o microgours (Medina, 2014). Lo que podría generar una reacción sobre el concreto,

ya que contiene minerales gracias al aporte de agua con minerales desechos en su mínima partícula que llegan en el proceso precipitado.

Enfocado el problema, en el foco de la línea de construcción, donde abarca el contexto de proyectos civiles como restaurantes, hoteles, hospedajes, agencias de viajes entre otros atractivos turísticos, pero con una inversión demasiado elevada debido a que la superficie del suelo se encuentra cubierto por espeleotema, esto genera mayor inversión en las costos sobre movimiento de tierra y demoliciones, por lo que se requieren los trabajos de maquinarias pesados y livianos como excavadoras, retroexcavadoras, roto martillos, cuña hidráulica entre otros.

Otra partida que se ve involucrada es la eliminación de material espeleotema con transporte (carguío a mano/maquina), generando contaminación al medio ambiente y disminuyendo la vida de servicio de los espacios sanitarios como rellenos cercanos a la localidad de Churin. Por tanto, en la localidad de Churin posee en abundancia espeleotema a nivel de la superficie del suelo y limitada disponibilidad de agregados grueso por no contar con canteras cercanas a la población.

Figura 1

Localidad de Churin



Nota. La imagen ubica la localidad de Churin, provincia de Oyon, departamento de Lima, donde presenta mayor espeleotema a nivel de superficie del suelo. Tomada de Google Earth, 2020.

Figura 2

Estrato de espeleotema



Con el planteamiento del problema, nace un fundamento en la indagación de principios de resistencia de materiales, en este caso en la sustitución o reemplazo del espeleotema sobre el agregado grueso natural. Entonces, la investigación se ejecutó para determinar las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación de espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso, cuyos resultados hallados dentro de la ingeniería de construcción nos permiten incorporar como nuevo material en reemplazo del agregado, atrayendo beneficios en las diferentes características paramétricas cuantificables del compuesto principal.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son las propiedades mecánicas del concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación de Espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso?

1.2.2. Problemas específicos

- 1) ¿Cuáles son las propiedades físicas del espeleotema, para su uso como agregado grueso?
- 2) ¿Cuáles son las dosificaciones del diseño de mezcla para un concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación del espeleotema?
- 3) ¿Cuál es la resistencia a la compresión y flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación del Espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso?

1.3. Justificación

La tesis expuesta, se ejecutó con la incorporación del espeleotema en la fabricación de testigos de concreto a cambio del agregado grueso, con el objetivo específico de utilizar espeleotema y encontrar usos sostenibles en la localidad de Churin, para que la población no se vea afectado en el sector de construcción con respecto a la parte económica obviándose la partida de eliminación de material espeleotema con transporte (carguío a mano/máquina), protegiendo a las áreas donde se deben proteger el medio ambiente de la localidad, además de no contar con canteras de agregado grueso cerca a la población.

Con ejecución de la investigación y por ende variedad de resultados hallados, se pueda emplear dentro del uso del concreto con la incorporación del espeleotema como remplazo del agregado grueso para las construcciones de viviendas y ejecución de obras civiles, además sería interesante el suministro de una planta chancadora de agregados en el área de interferencia.

En términos y aspectos sociales aquellos beneficiados directamente son los que hacen uso y radican como población de Churin como localidad y sus anexos, además de propuestas a nivel nacional de lugares donde hay espeleotema a nivel de la superficie terrestre, porque este estudio nos permite conocer valores cuantitativos reales sobre las paramétricas desde la mecánica del concreto con la incorporación del espeleotema como agregado grueso, esto servirá a la vez para investigaciones futuras donde se tenga en consideración este material o las variables incidentes y referidos al ámbito de la ingeniería y construcción.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis

Las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa se mantienen iguales con la incorporación del espeleotema, como agregado grueso en la localidad de Churin.

1.4.2. Variables

a) Variable independiente:

- Espeleotema como agregado grueso

b) Variable dependiente:

- Propiedades mecánicas

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índice	Escala de medición
Independiente: Espeleotema como agregado grueso	El espeleotema, es un mineral secundario, formado en diversas zonas de filtración de aguas termales o cavernas tras la génesis (Medina, 2014).	Es material empleado como agregado, remplazando el 50% y 100% del árido grueso, con fines de fabricación de un concreto con espeleotema en proporciones.	Porcentaje	%	Razón.
Dependiente: Propiedades mecánicas.	Son las características medidas en parámetros cuantificables del concreto en su estado fluido como endurecido (Laura, 2006)	Parámetros característicos cuantificables del concreto en estado fluido y duro como la capacidad a la flexión y compresión.	Resistencia a la compresión del concreto nominal	MPa	Razón.
			Resistencia a la flexión del concreto nominal	MPa	Razón.

1.5. Definición de términos

Agregados: son las partículas áridas, inertes de naturaleza inherente, o producto de triturado de rocas geológicas; estas componen el compuesto del concreto al contacto con algún aglomerante como la cal, cemento, etc. además de ser parte del 75% en volumen de un concreto tradicional. Están clasificadas y normadas según la textura fina o gruesa (Abanto, 2009).

Espeleotema: es comúnmente conocido como estrato de cavidad, el término "espeleotema" se refiere a depósitos minerales en cuevas que han sufrido

mineralización. Descubrimos que hay espeleotemas primarios y secundarios según el tipo de cuevas descubiertas (Instituto de Investigación FCN, 2018).

Espeleotema secundarios o epigenéticos: son ciertos solidificaciones o compuestos, típicamente aragonito y calcita (carbonato de calcio) y el compuesto sulfato de calcio, pueden disolverse en el agua que se ha estado filtrando a través de las grietas de la tierra cerca de una caverna. El volumen de mineral que se disuelve se encuentra en relación a una serie de variables, incluida la unión concentrada de CO₂ de la solución y la temperatura que se está experimentando (Instituto de Investigación FCN, 2018).

Estalactita: es un tipo de espeleotema que emerge de la superficie del techo de cavidades amplias o cueva. Donde se puede identificar la generación de depósitos de minerales subyacentes por el agua filtrada, etc.(Instituto de Investigación FCN, 2018).

Estalagmita: es una especie de espeleotema que se desarrolla en el suelo de una cueva de calcita como resultado de la decantación de disoluciones y el depósito de carbonato cálcico (Instituto de Investigación FCN, 2018).

Espeleotema primarios: son aquellos que además de los tubos de lava, también se encuentran espeleotemas en cuevas volcánicas. Aunque ocasionalmente se parecen a los que se ven en las superficies superiores denominadas kársticas, es decir, los espeleotemas hallados como primarios que se encuentran en las fosas volcánicas son creados por la baja temperatura de la lava sobrante dentro de la cueva (Instituto de Investigación FCN, 2018).

Cemento: es un aglomerado hidrofílico producido por la calcinación de rocas de calcita, arenita y arcilla para producir un polvo con partículas muy finas que persiste en el volumen del agua ejercida, adquiriendo características adherentes y resilientes (Pasquel, 1998).

Concreto: se clasifica como una mezcla de material aglomerante (conglomerante) que se ha combinado delicada y toscamente. El hormigón convencional es de carácter de componentes de agua y cemento portland hidráulico (aglomerante), pero asimismo es posible retener otras sustancias como aditivos químicos, puzolanas y escorias (NTP 339.047, 2006).

Barra compactadora: esta referido a un aparato redondeado, como objeto semicircular de 16 mm de diámetro en una pieza cilíndrica de hierro liso de aproximadamente 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud (INDECOPI 2009).

Resistencia a la compresión: es la especificación normalizada por el diseño de una estructura detallada en los parámetros de diseño y cálculo, y en los diseños de planos donde se determina una resistencia a la compresión del hormigón (F_c), que se utiliza como base para calcular las dimensiones y el esfuerzo de las distintas partes de una obra (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).

Resistencia a la flexión: es la capacidad de resistir fuerzas a la flexión de un hormigón (concreto), inferior a su resistencia a la compresión, aunque significativamente sobre su resistencia a la tracción indirecta o pura (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).

1.6. Objetivo de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Determinar las propiedades mecánicas del concreto de $f'_c=17.5$ MPa y $f'_c=21.0$ MPa con la incorporación de espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso.

1.6.2. Objetivo específico

1. Determinar las propiedades físicas del espeleotema, para su uso como agregado grueso.
2. Realizar diseño de mezcla para un concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación del espeleotema.
3. Determinar la resistencia a la compresión y flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación del espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso.

CAPITULO II.

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Categoría internacional

En su respectiva tesis, Terreros (2016) se propuso conocer y evaluar las características mecánicas (flexión y compresión) del hormigón tradicional adicionado con fibra de cañamo en circunstancias estándar, así como definir especialmente las condiciones en las que se trabajará la fibra de cañamo. También diseñaron y desarrollaron un esquema de combinación de componentes para concreto tradicional o convencional empleado usualmente con una capacidad de resistencia axial a la compresión de cuatro mil psis, sometiendo las demostraciones a esos

parámetros para ejecutar el estudio mediante ensayos de flexión y compresión, además del comparativo y diagnóstico de la mezcla elaborada convencional.

En concordancia a López (2015), desarrolló su investigación donde se enfocó en hallar una mayor resistencia, menor costo de componente de polipropileno y trabajabilidad en una combinación de concreto. Donde los resultados de su investigación desarrollada muestran que las fibras de polipropileno se comportan mejor, son mucho más resistentes y cuestan menos que las fibras de hierro cuando se mezclan con concreto. La mayor mejora en la resistencia se logró con la suma de 0,51 por ciento de componente de polipropileno, lo que resultó en un aumento de la resistencia del 9 por ciento; sin embargo, al día 90, la dosis que mejores resultados produjo fue la inclusión de 0.25 por ciento de componente de polipropileno.

Así, según Ramírez y Barros (2012) en su estudio desarrollado bajo confiabilidad científica, muestra resultados en el crecimiento de la capacidad de resistencia axial a la compresión del hormigón donde resultaron en un aumento de 4.09 por ciento en promedio en el transcurso de 28 días en el diseño $f'c = 21$ MPa y 13,04 por ciento en el diseño $f'c = 28$ MPa. Pero es importante tener en cuenta que, además de que se hicieron cuatro mezclas diferentes según la dosis (Patrón, 0,10 por ciento, 0,15 por ciento y 0,17 por ciento), se utilizó un promedio estadístico de las tres mezclas con adiciones para hallar estos valores medias.

2.1.2. Categoría Nacional

En concordancia, en sus respectivas tesis, Carrillo y Rojas (2017) se centraron en el fin de medir y evaluar las resistencias a fuerzas de flexión y posteriormente a

compresión de un concreto tradicional o patrón con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y un concreto que había sido donde se ha ejercido el cambio de agregado o arido en proporción de 1, 2, 3 y 4 % por Dramix 3D en relación con el volumen cuantificable del componente arido final, así como también para determinar en particular la fracción ponderal para una disposición de combinación de mezcla con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, sumando componentes de Dramix 3D en acero. Descubrir el por ciento óptimo con la suma de Dramix 3D en relación con la cantidad de adición final a la mezcla produce una amplia resistencia axial a la compresión específicamente; Hallar el óptimo porcentaje % de intercambio de Dramix 3D en relación con el cuerpo volumétrico del árido fino de la mezcla diseñada y elaborada, se demostró que aquel que resulta en mayor resistencia del hormigón a la flexión. También hallar la variabilidad en la consistencia, manejabilidad y trabajabilidad del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, cuando los componentes de Dramix 3D se agregan en porciones de 1.00, 2.00 y 4.00 por ciento correspondiente al volumen del arido fino del compuesto de concreto fluido.

La tesis de García (2017) tuvo como objetivo básico analizar la capacidad de resistencia axial a fuerzas a la compresión del hormigón adicionando componentes de vidrio y los costos de fabricación, para un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y como finalidad secundaria evaluar la resistencia axial a la compresión del hormigón con incrementos de diversas cantidades de fibras de vidrio en 0.025 por ciento, 0.075 por ciento y 0.125 por ciento en relación al peso de los minerales, incluyendo fibras de vidrio y entre su evaluación de los costos de producción del concreto.

Por otro lado, Gonzales (2012) tuvo como objetivo general en su estudio y/o investigación agregar un geopolímero proveniente de una etapa y parte mineral (piedra

pómez y ceniza volante) al concreto donde se basa puntualmente en la medición de características físico mecánicas como evaluar la resistencia axial a la compresión del hormigón fabricado para las pruebas y ensayos correspondientes.

Con respecto a un patrón de concreto en particular, la tesis de Vela (2018) tuvo los siguientes objetivos específicos y generales: determinar el resultado en cuanto a la resistencia a la compactación y permeabilidad del concreto después de reemplazar la piedra con arena abrasiva de ecogravilla; y en concreto analizando los respectivos resultados de la resistencia incidental a la compactación y permeabilidad que obtiene un hormigón independiente tras sustituir el árido natural por la arena abrasiva de ecogravilla.

La tesis de Campos (2015) refleja una investigación profunda sobre la indagación de la resistencia axial del hormigón empleando una adición de piedra caliza lavada y triturada; donde además se tuvo parte fundamental de la tesis ejecutada, hallar la resistencia axial a fuerzas de compresión del hormigón de $f'c = 210$ kg/cm² empleando partículas de piedra lavada caliza y chancada de la cantera específica denominada de la ciudadela Otuzco y mirador.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

Se clasifica como una combinación de mezcla definida como conglomerante y aglomerante que se ha combinado con agregados fino y grueso. El hormigón tradicional empleado suele incorporar en su incidencia al cemento portland y líquido

en especial “agua” como factor tradicional, pero, además, puede adoptar otras sustancias como escorias, aditivos y puzolanas (NTP 339.047, 2006).

2.2.2. Componentes del concreto

El hormigón especifica cuatro elementos fundamentales para la conformación de esta pasta: agua, cemento, aditivos y áridos (agregados) como componentes como aire y activos relacionado como elemento pasivo. Se ha demostrado científicamente que el uso de aditivos mejora los aspectos condicionantes de trabajo, la durabilidad y por supuesto la resistencia, lo que los convierte en un ingrediente estándar en el entrenamiento global moderno. Esta es una solución a tiempos prolongados y más rentables si se tienen en cuenta los ahorros en los recursos de personal de obra, equipos de construcción para la compactación y diseño, reparación, mantenimiento e incluso costos de reemplazo en menor empleo de pasta hidráulica (Pasquel, 1998).

2.2.2.1. Cemento

Es determinado como aquel elemento que ha sido triturado y tienen la propiedad de formar una pasta conglomerada que puede resistir la exposición tanto al agua como al aire mientras forman compuestos estables se denominan cemento (Rivva, 2000).

a) Tipos, Usos, y Características del Cemento

Tipo 1 – es el cemento normalizado, proveniente de la combinación de yeso y clinker, empleado comúnmente en diversos proyectos (Castillo, 2009).

Tipo 2 – es el cemento con cambios de modificación, moderada y modificada a la resistencia ante entes de sulfato y demandado en calor abundante donde se genera hidratación (Castillo, 2009).

Tipo 3 – es el cemento para obtener resistencia acelerada, desde la parte inicial, además eleva gradualmente al compararlo al tipo 1 y 2 (Castillo, 2009).

Tipo 4 – cemento empleado bajo la temperatura de hidratación, en el caso de C3A y C3S, para ganar resistencia gradualmente y lentamente, en obras como túneles y presas, entre otros proyectos (Castillo, 2009).

Tipo 5 – es el cemento que genera mayor resistencia ante la reacción de sulfatos, mayormente para proyectos marinos o hidráulicas en general, al minimizar C3A, ya que es susceptible al sulfato (Castillo, 2009).

b) **Composición Química**

Respecto a los elementos y compuestos desde la química del pegamento hidráulico “cemento portland” tiene un efecto sobre la rapidez con que se hidrata y cómo evoluciona su endurecimiento con el tiempo. El valor de la resistencia final, sin embargo, solo se ve ligeramente afectado por esta composición. Dos categorías se enumeran entre estos constituyentes (Rivva, 2000):

• **Los silicatos**

Los 4 componentes en cuanto a compuestos químicos fundamentales (SENCICO, 2016):

- ✓ Aluminatox tricálcico..... $\text{CaO.SiO}_2=\text{C}_3\text{Ax}$
- ✓ Ferrox aluminato tetra cálcico..... $\text{CaO.SiO}_2=\text{C}_4\text{AFx}$
- ✓ Silicatox tricálcico..... $\text{CaO.SiO}_2=\text{C}_3\text{Sx}$
- ✓ Silicatox Bicálcico... .. $\text{CaO.SiO}_2=\text{C}_2\text{Sx}$

• **Los Óxidos**

El clinker en cuanto a sus cuatro componentes principales del clinker suman entre el 90 por ciento y el 95 por ciento del total. La parte restante corresponde

a los denominados análisis secundarios, que se agrupan de la siguiente manera (SENCICO, 2016):

- ✓ Oxido de sodio y potasio y otros
- ✓ Oxido de cal libre
- ✓ Oxido de magnesio

c) Parámetros de calidad del material cemento

La NTP 334.009 y ASTM C595 indican directamente que los materiales como el cemento deberán cumplir los parámetros químicos y físicos obligatorios con la finalidad que el producto obtenga el cumplimiento de la calidad mediante un estándar expresado en parámetros (SENCICO, 2016).

Tabla 2
Parámetros del cemento desde el enfoque químico

REQUISITOS QUÍMICOS	TIPOS					
	I	II	V	MS	IP	Ico
Residuo insoluble, máx. %	0.75	0.75	0.75	---	---	---
Aluminato tricalcico (C ₃ A), máx. %	---	8	5	---	---	---
Perdida por ignición, máx. %	3	3	3	---	5	8
Oxido de magnesio (MgO), máx., %	6	6	6	---	6	6
Álcalis equivalentes						
(Na ₂ O+0.658K ₂ O), máx., %	0.6*	0.6*	0.6*	---	---	---
Trióxido de azufre (SO ₃), máx. %	3.5	3	2.3	---	4	4

Nota. Extraído de la norma técnica peruana (NTP) 334.009 (2013).

Tabla 3
Parámetros del cemento desde el enfoque físico

requisitos físicos	Tipos					
	I	II	V	MS	IP	Ico
Resistencia a la compresión min kg/cm²						
3 días	120	100	80	100	130	130
7 días	190	170	150	170	200	200
28 días	280*	280*	210	280*	250	250
Tiempo de fraguado, minutos						
Inicial, mínimo	45	45	45	45	45	45
Final, máximo	375	375	375	420	420	420
Expansión en Autoclave, % máximo	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Resistencia a los sulfatos	....	....	0.04*	0.1	0.10*	....
% máximox de expansión			14 días	6 meses	6 meses	
Calor de hidratación, Max, KJ/Kg						
7 días	....	290*	....	....	290*	....
28 días	....	....	....	....	330*	....

Nota. Extraído de la norma técnica peruana (NTP) 334.009 (2013).

2.2.2.2. Agregados

Se definen como aquellos que se agregan a una mezcla de partículas inorgánicas sintéticas o de aspecto natural cuyos tamaños se hallan dentro del margen de los parámetros estipulados en la NTP 400.011. Los datos de los áridos (agregados) representan la fase final del hormigón. Esta referido a un compuesto que se embeben en la pasta, el cual volumétricamente llega a 62 y el 78 por ciento de la unidad cúbica del hormigón. Una adecuada comprensión de la naturaleza mecánica/química del hormigón, así como de cómo esta característica paramétrica afecta inevitablemente a los factores del material proveniente de la corteza terrestre (Rivva, 2000).

A) Clasificación

Se pueden clasificación según los caracteres siguientes, según Pasquel (1998):

- **Por su granulometría**

Es la gradación medida en volumen de partículas. Según los tamaños granulares mayores y menores de 4,75 mm, el árido se clasifica como grueso (como en la piedra) o fino (como en la arena) (Estándar Malla ASTM # 4). Esta categorización también responde a consideraciones prácticas pues los métodos para procesar los datos adicionales son de naturaleza práctica (chancado, zarandeo) (Pasquel, 1998).

- **Por su procedencia**

Agregado natural: Son producidos por los procedimientos geoquímicos que han sucedido naturalmente en la tierra en el lapso de varios años y se recolectan, escogen y procesan para maximizar su aplicación en la fabricación del hormigón (Pasquel, 1998).

Agregado artificial: son el resultado de un procedimiento de evolución de elementos orgánicos en subproductos que, tras su posterior procesamiento, son aptos para su uso en la producción de hormigón (Pasquel, 1998).

- **Según su densidad**

Definiendo, es el peso en función al volumen del sólido o también determinada como gravedad específica, es habitual clasificar los objetos como se puede considerar parámetros entre 2,5 y 2,75, aquellos ligeros son menores a 2,5 y los más pesados se encuentran mayores al factor 2,75. Particularmente, individualmente estos tiene características distintas en función a lo común en concreto, estableciéndose tecnologías y metodologías de uso y diseño respecto al escenario (Pasquel, 1998).

B) Propiedades físicas

Definidos como fundamentales porque van a caracterizar a los agregados y tipos de estos, desde la porosidad, resistencia y la distribución volumétrica, denominada en gradación; para esto existen diversos y claros ensayos estandarizados que van a cuantificar las características bajo comparativas de diseño elaborado (Pasquel, 1998).

- **Peso específico**

En la relación de división del volumen y el peso específico de las partículas sin tener en consideración los vacíos. La NTP 400.021 define un proceso estándar de 3 maneras en relación a las condiciones de saturación, generando un producto con la densidad del agua para cuantificar parámetros, para conocimiento los valores 2,500 y 2,750 kg/m³ son promedios conocidos en peso específico del agregado (Pasquel, 1998).

- **Peso específico de masa (Pem):**

$$Pem = \left(\frac{W_o}{(V-Va)} \right) \times 100 \quad (1)$$

- **Peso específico de masa saturado con superficie seca (PeSSS)**

$$PeSSS = \frac{500}{(V - Va)} \times 100 \quad (2)$$

- **Peso específico aparente (Pea)**

$$Pea = \frac{(W_o)}{(V-Va)-(500-W_o)} \times 100 \quad (3)$$

- **Absorción (Ab)**

$$Ab = \frac{(500-W_o)}{W_o} \times 100 \quad (4)$$

- **Peso unitario**

Corresponde a la división entre el peso y volumen general aceptando los vacíos entre partículas, además, de ser considerado como un parámetro relativo (Pasquel, 1998).

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (5)$$

- **Porcentaje de vacíos**

En el parámetro volumétrico relacionado con el porcentaje de espacios y las partículas de cualquier tipo de agregado; este valor cuantificable es relativo; asimismo la norma NTP 400.017 señala y define la fórmula de la siguiente manera, para el cálculo porcentaje de vacíos:

$$\%de\ vaciosx = \frac{S * W - M}{S * W} * 100 \quad (6)$$

- **Absorción**

Es el factor establecido en porcentaje que refleja la característica de absorber agua y guardarla en los vacíos volumétricos en el interior de los áridos o partículas comunes; no cumpliendo llenarse los poros definidos y generando un aire atrapado; y tiene efecto sobre el hormigón endurecido y demás propiedades. La normativa NTP 400.021 y 400.022 señala lo siguiente (SENCICO, 2016):

$$\%Absorcionx = \frac{Peso\ S.S.S - Peso\ seco}{peso\ seco} \quad (7)$$

- **Humedad**

Es la correspondencia exacta entre el peso de agua absorbido naturalmente por el árido y peso natural del sólido, señalado y calculado en porcentaje. En referencia a la norma NTP 339.185 este factor en porcentaje se define así (Castillo, 2009):

$$\% Humedad = \frac{Peso\ original\ de\ la\ muestra - Peso\ Seco}{Peso\ seco} * 100 \quad (8)$$

- Granulometría

Puntualizada como la selección distribuida según las masas y tamaños de los áridos fino y grueso, están directamente relacionadas con la manejabilidad del hormigón en estado fluido, la compactación y resistencia físico mecánica del hormigón compacto. Dentro de los límites de rango según la NTP 400.037 para el árido fino y para el árido grueso en la Tabla 4 y 5 (Huincho, 2011).

Mediante el uso de tamices con aberturas predeterminadas en forma de cubo, es posible separar el material mediante un procedimiento mecánico. Las partículas áridas constituyen entre el 65 y el 80 por ciento del volumen total del hormigón. Dada su relevancia en el volumen de la combinación, el granulómetro utilizado para los agregados finos y gruesos debe permitir alcanzar las máximas densidades posibles en las mezclas, así como los factores característicos del concreto terminado y las propiedades del concreto soportado (Rivva, 2000).

Tabla 4

Rangos granulométricos del árido fino sobre límites según tamiz

Tamiz estándar (abertura cuadrada)	Porcentaje que pasa
3/8"(9.51 mm)	100
N°4 (4.75mm)	95 a 100
N°8 (2.38mm)	80 a 100
N°16 (1.19mm)	50 a 85
N°30 (0.595mm)	25 a 60
N°50 (0.297mm)	5 a 30
N°100 (0.148)	0 a 10

Nota. Extraído de la norma técnica peruana (2013).

Tabla 5*Limites granulométricos del agregado grueso*

HUSO A _{STM} ^N	Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasa por los Tamices Normalizados												
		100mm (4")	90mm (3 1/2")	75mm (3")	63mm (2 1/2")	50mm (2")	37.5mm (1 1/2")	25.0mm (1")	19.0mm (3/4)	12.5mm (1/2)	9.5mm (3/8)	4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)	1.18mm (N°16)
1	90 a 37.5mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	63 a 37.5mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	50 a 25.0mm (2" a N°4)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	50 a 4.75mm (1 1/2" a 3/4")				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	37.5 a 19.0mm (1 1/2" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	37.5 a 4.75mm (1 1/2" a N°4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	25.0 a 9.5mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25.0 a 9.5mm (1" a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 5	0 a 5		
57	25.0 a 4.75mm (1" a N°4)						100	91 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	19.0 a 9.5mm (3/4" a 3/8")							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19.0 a 4.75mm (3/4" a 1 N°4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75mm (1/2" a N°4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36mm (3/8" a N°8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Nota. Extraído de la norma técnica peruana (2013).

C) Propiedades químicas

Es fundamental desarrollar y mencionar el potencial de tener algún efecto ya que los materiales agregados, también conocidos como inertes, suelen ser extremadamente resistentes al ataque químico. Existe un tipo de ataque químico a los aditivos que, en cuanto a sus efectos sobre la resiliencia del hormigón, es el más importante. Es causado por algunos aditivos que reaccionan en el cemento y en conjunto con los álcalis para producir productos de mayor volumen (Pasquel, 1998).

- **Reacción álcali – Sílice**

Los componentes químicos como el óxido de potasio y sodio conforman el álcalisilice en el cemento, de forma cuantificable y en condiciones focalizadas en humedad y temperatura pueden reaccionar con minerales establecidos generando un gel normalmente expansivo ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$) mayores a 0.6 %, 30°C en temperatura, tiempo de cinco años y aproximación del 80 por ciento. La prueba química funciona en emplear el agregado tamizado y chancado a la reacción en respuesta del Hidróxido de Sodio en un rango de tiempo de 24 horas y 80°C dentro de una cápsula. El ASTM C-150, concuerda con definir limitaciones del 0.6% en volumen de álcalis y cemento y mitigar la reacción álcali-sílice (Castillo, 2009).

- **Reacción álcali-Carbonatos**

Tiende a producirse cuando los agregados reaccionan con carbonatos produciendo sustancias muy expansivas; para esto está diseñado el ensayo estándar ASTM C-586 para verificar la potencialidad de la reactividad (Castillo, 2009).

Tabla 6

Minerales reactivos con álcalis de cemento

REACCIÓN ALCALI -SILICE		REACCIÓN ALCALI-CARBONATO
Andesitas	Pizarra opalinas	Dolomitas calcíticas
Argillitas	Filitas	Calizas dolomíticas
Ciertas calizas y dolomitas	Cuarcita	Dolomitas de grano fino
Calcedonia	Cuarzosa	
Cristobalita	Riolitas	
Dacita	Esquistos	
Vidrio volcánico	Pizarra Silíceas y ciertas formas de cuarzo	
Gneiss granítico	Vidrio silíceo, sintético y Natural	

Nota. Extraído de Enrique (1998).

D) Muestreo de los agregados

Es un procedimiento para evaluar los estándares de calificación del hormigón, y la recolección de muestras de los materiales añadidos es una operación crucial. Según el uso que le quieran dar y su función, el espécimen puede tomarse en el área, en la planta de tratamiento o en el proyecto de construcción. Las porciones de muestra se clasifican según la textura, color o tamaño, con enfoques a ensayarse independientemente de cada porción a estudiarse, en la Tabla 7 (Rivva, 2000).

Tabla 7

Muestra representativa de los agregados

<u>Tamaño máximo</u>	<u>Kilos</u>
N°8	10
N°4	10
3/8"	10
1/2"	15
3/4"	25
1"	50
1 1/2"	75
2"	100
2 1/2"	125
3"	150
3 1/2"	175

Nota. Enrique (1998).

E) Rangos de límites perjudiciales en cuanto a sustancias

Considerando que los agregados están a la intemperie no deberán exceder los rangos fijados por la normativa NTP 400.037, aquellos señalados a continuación:

Tabla 8*Límites máximos de sustancias perjudiciales del árido grueso y fino*

Ensayos	Agregado fino	Agregado grueso
Partículas deleznales, más porcentajes	3	3
Material más fino que el tamiz normalizado 75 μ m (No 200), máx. porcentaje:	-	-
Concreto sujeto a abrasión	3(A)	1
Otros concretos	5(A)	1
Carbón y lignito, máx. porcentaje	0.5	0.5
impurezas orgánicas	El agregado fino que no demuestre presencia nociva según señala lo estipulado en la NTP 400.024. se considerará aceptable. Además, el agregado fino que no cumpla con el ensayo anterior, se podrá emplear sobre la resistencia de morteros, según lo estipulado en la NTP 400.013.	

Nota. NTP 400.037.

2.2.2.3. Agua

Es el compuesto importante de la mezcla de concreto para su reacción directamente con el cemento con una principal función en el compuesto (Rivva, 2000).

La inclusión del agua permite el grupo de masa obtenga propiedades desde su capacidad dura donde va generar manejabilidad eficiente para la colocación y manipulación; y en estado endurecido convirtiendo un conjunto de características y/o propiedades deseadas (Rivva, 2000).

Sin que ello requiera de forma significativa en la ejecución de pruebas que comprueben su calidad, esta necesidad es de carácter genérico. Cualquier agua que se considere

comestible o que se sepa que puede usarse en la producción de la pieza específica puede usarse como agua de mezcla (Rivva, 2000).

Recapitular que las variedades de aguas que son para el ser humano son relativamente correctas para el mezclado en la elaboración del concreto. En general, los rangos que delimitan las variedades que se presentan, el flujo deberá está limpio de colorantes o cualquier tipo de sustancia, como azucares o aceites (Rivva, 2000).

El seleccionado de agua para la mezcla no debe contener las sustancias innecesarias que puedan desfavorecer las características principales como la durabilidad, resistencia, fraguado, apariencia y sobre elementos metálicos embebidos; además, la fuente de obtención del líquido no debe estar involucrada a influencias que modifiquen la composición (Rivva, 2000).

- **Aguas prohibidas**

Los siguientes fluidos son prohibidos para la preparación del concreto (Rivva, 2000):

- Con cloruro de sodio > de 3 por ciento, o sulfato > de 1%.
- Que tenga entre si humus, azufre, carbón en particulas, algas y fluido de desagüe
- Que tenga entre si orgánicos ácidos o húmico.
- Agua acida
- Aguas calcáreas o carbonatadas
- Aguas provenientes de relaves o minería
- Con particulas de residuos de las industrias

2.2.3. Espeleotema

Es el nombre oficial de lo que a menudo se conoce como "formaciones de las cavidades". El término, que deriva del griego "depósito de las cavidades", se relaciona principalmente a áreas que funcionan como recolectores de minerales en el nivel secundario, formado en una cueva que suceden al origen de estos recursos (Instituto de Investigación FCN, 2018).

A la luz del uso ampliado de la palabra está en referencia a "estructuras de cavidades", vemos que hay varios tipos de espeleotemas debido al tipo de cueva en la que se encuentran (Instituto de Investigación FCN, 2018).

a) Espeleotema en kársticas (espeleotema)

✓ Particularidades

Relacionada al enfoque de algunos compuestos, típicamente calcita y aragonito (carbonato de calcio) y yeso (sulfato de calcio), pueden disolverse en agua que ha sido filtrada a través de las grietas del suelo de una cueva. La cantidad de mineral que se disuelve en relación a varias variables, incluida el dióxido de carbono en concentración y la temperatura de la solución. La liberación de CO₂ cambia el agua respecto a su capacidad para conservar estos elementos en solución en los casos de diversas soluciones llega a una cueva llena de aire, lo que hace que los minerales se precipiten. La acumulación de estas precipitaciones a lo largo del tiempo, que puede ser de décadas o incluso milenios, puede dar lugar a la formación de espeleotemas posteriores (Instituto de Investigación FCN, 2018).

Respecto al espeleotema secundario no se conforma especialmente en cuevas kársticas, sino en cavidades donde el goteo de minerales esté presente en precipitación en el área; es aquí donde se encuentran espeleotemas volcánicos en

áreas húmedas en el tiempo en que se forman (Instituto de Investigación FCN, 2018).

✓ **Formas secundarias comunes**

Estalactita:

El techo de una cueva contiene un personaje efímero llamado estalactita. Se desarrolla y expone posterior a la generación de la conservación de minerales en curso en el fluido (agua) que se purifica, etc. Cada estalactita comienza como una gota volumétrica mineralizada de agua. Lava una fina calcita reguero detrás de la gota a medida que cae. Entonces, continuamente con la acumulación de gotas continuas se deja atrás la siguiente pequeña capa de calcita. Al último, estas tapas se combinan para formar un tubo torcido (0,5 mm). Para esto con el fin de convertirse en una acreación suplementaria o columna de pilares (Instituto de Investigación FCN, 2018).

Características.

Dentro de la tipología se encuentran varias denominaciones en lo particular como (Instituto de Investigación FCN, 2018):

- Los macarrones, con forma de tubo de milímetros con conducto interno. Con capacidades de lograr longitudes y crecer como estalactita clásica
- Las piñas o estalactitas bulbosas con formaciones de estalactita donde su crecimiento se da de forma sumergida, en agua.
- Las estalactitas deflectadas o anemolitos se da su crecimiento con las corrientes de aire de las estalactitas con el cual no crece de forma recta sino en caso contrario con una formación de curva.
- Las ubres, nabos o remolachas; estas son mostradas como tipología de estalactita en relación a un escudo directo a una estalactita.

Estalagmita:

Está definido como una tipología del espeleotema, es decir, se podría denominar como depósito de minerales por precipitación; entonces, formada en la superficie de una cueva en concentración del carbonato cálcico y la caliza por decantación. El término "estalactita" se refiere a la formación correspondiente que se encuentra en el techo de una cueva. Columna o pilar es el término utilizado para describir el resultado cuando estas formaciones se vuelven lo suficientemente grandes como para ser encontradas (Instituto de Investigación FCN, 2018).

También pueden crecer estructuras similares en los tubos de lava cuando están presentes ciertos tipos de estafilitos, aunque el mecanismo de formación es muy distinto. Estalactitas y estalagmitas sumados podrían ocurrir en hormigón techos y suelos, aunque esto es mucho menos común que en los ambientes nativos subterráneos (Instituto de Investigación FCN, 2018).

✓ **Química**

Múltiples factores dentro del enfoque químico como el grado de humedad de la cueva, volumen de ácido, grado de filtración de H₂O, el aire, clima del ambiente, lluvia promedio y su intensidad, color de los temas de espera suplementarios y la vegetación circundante (Medina, 2014).

El núcleo y los alrededores de la cueva donde se nota la mineral calcita, CaCO₃, parte fundamental de la roca caliza, la parte clave, el cual es moderado solublemente cuando se inyecta al Dióxido de Carbono (CO₂). Disminuye a medida que aumenta la temperatura, en contraste con la solubilización de los sólidos; asimismo, los que hace que el carbonato de calcio se cristalice es la liberación del CO₂ (Medina, 2014).

✓ Testigo de Clima

Se pueden tomar y utilizar muestras secundarias de espeleotema, como si un núcleo de hielo sirve como parámetros de cambios climatológicos. Este material, puede ser evaluado con enfoque, más allá del cambio y tiempo climatológico, empleando métodos de datos en serie del elemento uranio (Medina, 2014).

Debido a su estructura relativamente simple y la cantidad de diversos indicadores climáticos que contienen, isotopos de carbono y oxígeno, con trayectorias de cationes. Estos pueden proporcionar relativamente conocimientos sobre la vegetación durante 500 000 años anteriores, transformación en precipitaciones y temperatura (Medina, 2014).

b) Espeleotemas en cuevas volcánicas; espeleotemas primarios o singeneticos

Generalidades

Además de los tubos de lava, también se encuentran espeleotemas en las profundidades volcánicas formados como cuevas. Aunque en ocasiones se asemejan a los que se encuentran en las profundidades de las cuevas también llamadas kársticas, los espeleotema primarios que se ven en los espacios volcánicos se producen en el cambio de temperatura, ocasionando enfriamiento de la lava volcánica restante dentro de la cueva. Debido a los aportes de agua mineral disuelta que van acabando precipitando, en el interior del tubo volcánico pueden formarse más espeleotemas, como pequeñas estalactitas y otros aglomerados, dependiendo de su edad y del suelo en el que se asiente (Instituto de Investigación FCN, 2018).

2.2.4. Diseño de mezcla

Es el trazo del procedimiento de provisión de determinación de cantidades de una mezclas de componentes, más conocido como diseño de mezclas, consta de los

siguientes pasos que son mutuamente relacionadas e incidentes entre sí: elección de componentes convencionales (agregados, cemento hidráulico y agua) y cálculo de valores cuantificables en volumen y peso o de forma proporcional para crear, tal vez en un concreto con costo practicable, con manejabilidad, trabajabilidad, resistencia en estado endurecido y durabilidad (Laura, 2006).

Información requerida para el diseño de mezclas

Los parámetros cuantificables para el diseño de mezcla, Según, Laura (2006) se requiere:

- ✓ Factores provenientes del análisis granulométrico de los áridos fino y grueso.
- ✓ Valor cuantificable del peso unitario compactado (grueso y fino).
- ✓ Marca de cemento y su tipología.
- ✓ Valor cuantificable del peso específico del cemento hidráulico
- ✓ Valor cuantificable del peso específico de áridos fino y grueso.
- ✓ Valor cuantificable del porcentaje de humedad y absorción de áridos fino y grueso.
- ✓ Factor textura de los áridos.
- ✓ Relación entre agua/cemento y respecto a las resistencias.

2.2.4.1. Pasos para el proporcionamiento

En concordancia con Laura (2006), los procesos necesarios para el diseño de mezcla son:

- **Verificación puntual de los planos y detalles de las especificaciones técnicas del proyecto.**

A la hora de diseñar una mezcla de hormigón, primero debemos revisar los planos y requisitos técnicos del proyecto, donde podemos encontrar todas las

especificaciones que el profesional proyectista estipuló con fines que el proyecto cumpla con los parámetros particulares a lo largo de su vida de las estructuras (Castillo, 2009).

- **Elección de la resistencia promedio (f'_{cr})**

Para lograr la resistencia de diseño (f'_c) especificadas por el diseñador del proyecto, elija la resistencia mínima requerida (f_{cr}). En esta etapa se debe tener en cuenta el grado de control que debe ejercerse a lo largo de la construcción, así como el coeficiente de varianza y la desviación estándar (Castillo, 2009).

Tabla 9

Resistencia a la compresión promedio

Consistencia	Asentamiento
Seca	0'' (0mm) a 2'' (50mm)
Plástica	3'' (75mm) a 4'' (100mm)
Fluida	3 5'' (125mm)

Nota. Samuel (2000)

- **Elección del asentamiento (Slump)**

Para la especificación técnica del proyecto para una consistencia específica según la siguiente tabla:

Tabla 10

Resistencia de seguridad para el diseño

f'_{cr}	f'_{cr}
menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
sobre 350	$f'_c + 98$

Nota. ICG, (2010)

En el caso de no tener en cuenta la consistencia de diseño el comité ACI 211.1, emplea la siguiente tabla para designar indicadores en rangos según la estructura que se desea construir, con concretos por vibración consolidada (Castillo, 2009).

Tabla 11*Slump máximo y mínimo (Asentamientos recomendados) para estructuras*

Tipo de Estructura	Slump máximo	Slump mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Nota. ACI 211.1

- **Designación de tamaño necesario máximo del agregado**

Respecto a las normas que se datan en la existencia para el correcto diseño estructural, se detalla un tamaño máximo nominal para el arido grueso, sea el disponible y económico, compatible a una dimensión y diferentes parámetros de una estructura (Castillo, 2009). Además, en relación a lo mencionado, el árido grueso debe cumplir con el RNE E. 060, esta deberá cumplir:

- **Estimación del agua de mezclado y contenido de aire**

La siguiente tabla 12, ha sido elaborado con los indicadores recomendados por el ACI, Comité 211, donde nos brinda una estimación preliminar de la cantidad de agua mezclada necesaria para muestras de hormigón realizados con varios niveles máximos de adición con o sin aire dentro del agregado (Castillo, 2009).

Tabla 12*Agua requerida para la mezcla con y sin contenido de aire.*

ASENTAMIENTO O indicados. SLUMP (mm)	Agua en lt/m ³ de concreto. para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia ASENTAMIENTO O indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25 mm (1")	40 mm (1½")	50 mm (2")	70 mm (3")	150 mm (6")	
Concretos sin aire incorporado									
30 a 50 (1" a 2")	207	199	190	179	166	154	130	125	
80 a 100 (3" a 4")	228	216	205	193	181	169	145	140	
150 a 180 (6" a 7")	243	228	216	202	190	178	160	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
Concretos con aire incorporado									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido incorporado	Exposición	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5*	1.0*
función del grado de exposición.	Exposición severa	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5*	4.0*

Nota. ACI 211.1

Dentro de los parámetros numéricos en relación al asentamiento del hormigón mayores de 40 mm (1½") son respecto a pruebas Slump, posterior al retiro de partículas húmedas en tamizado > 40mm (1½") (Castillo, 2009).

Se usará una malla de 40 mm (1½") de ancho para manejar un material específico que contenga volumen agregado. Preliminarmente, a la determinación de la cantidad de aire porcentualmente, se espera el material de menos de 40 mm (1½") se deberá enumerar en las tablas correspondientes. Por otro lado, se debe tener en cuenta el porcentaje de aire, el cual es incluido en la mezcla totalitaria (Castillo, 2009).

Como se muestra, la Tabla 12 no tiene en cuenta la estimación del agua mezclada, los efectos del perfil, la textura y la granulometría. Debemos señalar que estos factores enumerados son los valores fundamentales precisos para un cálculo en primera instancia y que las cantidades requeridas de agua embarrada pueden estar por encima

o por debajo de esos valores dependiendo de la composición, granulometría y textura de los materiales agregados (Castillo, 2009).

Además, de la misma forma, lo ideal para este proceso se hace presente la Tabla 13 , el cual tiene como fin, determinar la cantidad cuantificable de volumen de agua solicitará la mezcla diseñada, considerando perfil y tamaño máximo de los áridos. Entonces, los factores se presentan consecuentemente en la Tabla 13, aquellos que son para mezclas no combinadas con el aire retenido (Castillo, 2009).

Tabla 13

Contenido volumétrico de agua de mezcla

Contenido de agua en el concreto, expresado en 3 lt m, para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.							
Tamaño máximo nominal del agregado grueso		25mm a 50mm (1''-2'')	75mm a 100mm (3''-4'')	150mm a 175mm (6''-7'')			
mm.	Puig.	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8''	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2''	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4''	170	189	185	204	208	227
25.4	1''	163	182	178	197	197	216
38.1	1½''	155	170	170	185	185	204
50.8	2''	148	163	163	178	178	197
76.2	3''	136	151	151	167	163	182

Nota. ACI 211.1

La Tabla 13 también demuestra la cantidad aproximada y porcentual de aire dentro de una mezcla fluida que debe anticiparse en el hormigón sin aire agregado, así como los recomendados, en función con el nivel de exposición, para concreto agregado intencionalmente con aire por factores de durabilidad contra procesos cíclicos de congelación y descongelación, agua de mar o con contenido de sulfatos. Luego de determinar los valores volumétricos de aire atrapado y agua dentro de un metro cúbico

de concreto, se procede a determinar cuánto espacio ocupa cada uno dentro de la unidad por volumen de hormigón (Castillo, 2009):

$$\text{Volumen de agua } m^3 = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado } \left(\frac{\text{lbs}}{m^3} \right)}{\text{peso específico del agua } \left(\frac{1000 \text{ kg}}{m^3} \right)} \quad (10)$$

- **Determinación de la relación agua/cemento (a/c)**

Para determinación se deduce según el criterio, ya sea por durabilidad o resistencia, entonces, la relación a/c se escogerá en relación al menor de los valores cuantificables, con lo que los requisitos de las especificaciones se darán a cumplimiento; satisfaciendo a la durabilidad como requerimiento (Castillo, 2009).

Por resistencia

La relación a/c será tomada para cemento Portland tipo I o los tradicionales, como se detalla de la siguiente manera en la tabla 14 (Castillo, 2009):

Tabla 14

Factores de relación agua/cemento del diseño del concreto

RELACIÓN AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO		
Resistencia a la compresión a los 28 días (f'cr) (kg/cm2) *	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Nota. ACI 211.

Por durabilidad

Al elegir un hormigón de permeabilidad baja; la normativa nacional E.060 prescribe que, si el hormigón ha de estar dentro de procedimientos de deshielo o congelación

en ambiente húmedo, se debe cumplir a cabalidad lo indicado en la tabla siguiente 15 (Castillo, 2009):

Tabla 15

Factor máximo de relación agua/cemento para concretos

Parámetros de exposición	Relación agua/cemento máximo
Concreto de baja permeabilidad:	
a) Expuesto a agua dulce.	0.5
b) Expuesto a agua de mar o Aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas Cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones Delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.5
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, Neblina o rocío de esta agua.	0.4
Si el recubrimiento mínimo se Incrementa en 15 mm.	0.45

Nota. ACI 211.

- **Cálculo del contenido de cemento**

Posterior al cálculo de cantidad de agua y el factor a/c; se determina la cantidad de cemento teniendo en cuenta una simple operación para despejar el volumen de cemento; asimismo, si se diera casualmente el establecimiento según el proyecto de una cantidad mínima de cemento; quizás en los casos que se requiera un adecuado acabado o mejor trabajabilidad o consistencia.

$$\text{Contenido de cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{contenido de agua de mezclado } \left(\frac{\text{lbs}}{\text{m}^3} \right)}{\text{relacion de } \frac{a}{c} \text{ (para } f'_{cr})} \quad (11)$$

$$\text{Volumen de cemento } (\text{m}^3) = \frac{\text{contenidox de cemento } (\text{kg})}{\text{Peso especifico del cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} \quad (12)$$

- **Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.**

Método del comité ACI 211.1

Para esta estimación se hará presente la tabla 16 donde el contenido de agregado grueso se encuentra en relación y en función al módulo de fineza del agregado fino y tamaño máximo nominal del agregado grueso. Además, la tabla 16 nos permite obtener un factor o b/b proveniente de un resultado de la subdivisión del peso seco del árido grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso en función de la unidad en kg/m^3 (Castillo, 2009).

Tabla 16

Factor de volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO		MODULO DE FINEZA DEL AGREG. FINO			
mm.	Puig.	2.4	2.6	2.8	3
10	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. ACI 211.1

- El agregado grueso en cuando a su volumen, está en situación compactada y seca, como se menciona en el ASTM C29, aquellos que han sidox seleccionados a partir de relaciones empíricas (Castillo, 2009).

Los detalles menos intensivos en mano de obra, como los que se requieren en la construcción de pavimentación, pueden aumentar su valor alrededor de un 10%. Los valores podrán reducirse hasta en un 10% cuando se utilicen especificaciones más prácticas, como las que puedan ser necesarias cuando la colocación se haga por bomba. Tras la adquisición de b/b₀, se utiliza el siguiente método para determinar la cantidad de hormigón con áridos necesaria para un metro cúbico de hormigón (Castillo, 2009):

$$\text{Pesox secox del A grueso} = \frac{b}{b_0} x (\text{Pesounitario compactado del A grueso}) \quad (13)$$

Por consecuente, los volúmenes de los agregados grueso y fino serán calculados de la siguiente manera:

$$\text{Vol. agregado grueso}(m^3) = \frac{\text{Peso seco del A grueso}}{\text{Peso específico del A grueso}} \quad (14)$$

$$\text{Vol. ag. fino}(m^3) = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. grueso}).. \quad (15)$$

Por secuencia, el peso seco del agregado fino será representado por:

$$\text{Peso agr fino} \left(\frac{k}{g} \right) = (\text{Vol. agr fino})(\text{Peso específico del agr fino}) \quad (16)$$

- Ajustes por humedad y absorción

La cantidad de agua agregada y la cantidad de humedad en los áridos tendrán un impacto en la cantidad volumétrica de agua de la pasta. Si permanecen fríos, atraerán la humedad y perderán su capacidad de funcionar de manera efectiva respecto a la trabajabilidad y factor a/c. Asimismo, al contar con porcentaje de humedad sin restricciones en su superficie (humedad agregada), agregarán agua a la mezcla, generando crecimiento en la relación agua/cemento, la consistencia y

reduciendo la capacidad de resistencia axial. En conclusión, es necesario estimar estos efectos y ajustar la mezcla teniéndolos en consideración (Castillo, 2009).

Por lo tanto:

$$\text{Agregado Grueso} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{absorción} = \%a_g \end{cases}$$

$$\text{Agregado fino} \begin{cases} \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{absorción} = \%a_f \end{cases}$$

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso Ag. grueso humedo (kg)} = (\text{Peso Ag. grueso seco}) \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right) \quad (17)$$

$$\text{Peso Ag. fino humedo (kg)} = (\text{Peso Ag. fino seco}) \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right) \quad (18)$$

Agua Efectiva:

$$\text{Agua . A. grueso} = (\text{Peso A grueso x seco}) \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X \quad (19)$$

$$\text{Agua . A. fino} = (\text{Peso A fino x seco}) \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y \quad (20)$$

$$\text{Agua . efectiva (lts)} = \text{Aguax de diseño} - (X + Y) \quad (21)$$

- **Determinación de proporciones en peso**

Cemento:	agregado fino:	agregado grueso / agua	
$\frac{\text{peso}}{\text{cemento}}$	$\frac{\text{peso Ag. fino humedo}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{Peso Ag. grueso humedo}}{\text{Peso cemento}}$	$\frac{\text{agua efectiva}}{\text{peso cemento}}$

- **Determinación de proporción por volúmenes de componente**

Datos preliminares:

- Peso unit (cemento) = 1500 kg/m³.

- Pesos unit sueltos de los agregados fino y grueso (en humedad).

Volúmenes en estado suelto:

$$\text{Cemento} \quad : \quad \text{Vol. cemento (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso de cemento(kg)}}{\text{P.U.Cemento } \left(\frac{1500\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad (23)$$

$$\text{Agreg. fino} \quad : \quad \text{Vol. fino (m}^3\text{)} = \frac{\text{Pesox A.fino humedo (kg)}}{\text{P.U.A.finox humedo } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad (24)$$

$$\text{Agreg. Grueso} \quad : \quad \text{Vol. fino (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso A.finox humedo (kg)}}{\text{P.U.A.finox humedo } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \quad (25)$$

Ahora, para hallar el volumen del xagua, se calculará en litros por bolsa de cemento (Lts Bis), así:

$$\text{Agua } \left(\frac{\text{lts}}{\text{Bls}}\right) = \frac{\text{Cantidad de agua por m}^3\text{ de C}^\circ}{\left(\frac{\text{Peso cemento por m}^3\text{ de C}^\circ}{\text{Peso de cemetno por bolsa(42.5)}}\right)} \quad (26)$$

Proporciones en volumen:

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua (Lts Bls)

$$\frac{\text{Vol. cemento}}{\text{Vol. cemento}} : \frac{\text{Vol. Agr. fino}}{\text{Vol. cemento}} : \frac{\text{Vol. Agr. grueso}}{\text{Vol. cemento}} \quad / \text{Agua} \left(\frac{\text{lts}}{\text{Bls}}\right)$$

2.2.5. Resistencia a la compresión

Dado que el hormigónx está diseñado a soportar esfuerzos a compresión, esta característica es definida como el punto máximo de esfuerzos realizados sobre el concreto que este material soporte antes de su rotura axial; empleando este factor como índice de su calidad estándar (Rivva, 2003). Dentro del conocimiento científico del área, es considerada la característica física del hormigón endurecido como la principal, usado para el rechazo o aceptación del concreto elaborado; porque a su vez representa la resistencia al desgaste, permeabilidad y durabilidad (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).

Es cuantificable y calificable, dentro de las propiedades básicas del hormigón endurecido, asimismo, se debe tener en cuenta que existes factores diferenciados que puedan afectar su medición estable y corriente de forma desfavorable para aquel que ha realizado el diseño. Además, es elemental, considerar la capacidad de resistencia axial del hormigón mínimo se deberá a un respectivo curado y edad del mismo, empleando el cemento portland tipo I en el estudio, si se pretende ensayar (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).

Tabla 17

Resistencia mínima a la compresión axial del concreto

Días de Ensayo	Resistencia mínima (%)
7 días	70
14 días	85
21 días	95
28 días	100

Nota. Extraído del Instituto del concreto 318, (2014).

2.2.5.1. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, muestras cilíndricas

En relación a este punto, la NTP 339.034 (2008), explica que consiste en emplear una carga de forma axial a cilindros elaborados como especímenes y moldeados, donde sobre una prensa hidráulica se puede medir el rango resistencia antes de la falla de una probeta elaborada, para posteriormente realizar el cálculo de la resistencia de acuerdo al área del espécimen y la carga máxima empleada.

2.2.6. Resistencia a la flexión

Caracterizada por arrojar como valor, un valor numérico menor a la resistencia a la compresión, pero superior a la capacidad de resistir a la tracción estudiada y pura calculada o hallada. El factor mayormente es necesario en pavimentos rígidos viales; ya que se conoce que los vehículos ejercen mayormente presión sobre la superficie, estos están al borde de 5 o 6 Kg/cm², lo que varía normalmente entre los 150 a 350 Kg/cm² comúnmente; entonces, el factor de resistencia a la compresión no es aquel estándar del hormigón, sea en el contexto de pavimentos, en cambio la capacidad de la resistencia a la flexión por la circulación del parque automotor, lo que ocasiona tensión y otros lados a compresión, variando los esfuerzos, lo que el esfuerzo a flexión podría ser focalizado empleando refuerzo de capas o algún refuerzo específico. Entonces, se denota la importancia del factor calculable de la capacidad de resistir a la flexión para obras viales, reconocida también con la denominación “módulo de rotura” (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).

Método de ensayo

Para este tipo de ensayo se elabora una viga de concreto, la cual será apoyada entre sus extremos de la luz, llevando el proceso de acuerdo a lo que menciona la norma NTC 1377 o ASTM C31 y ASTM C78. Y se deben seguir las siguientes consideraciones:

- ✓ Las longitudes de los especímenes normalmente según norma son: 10cm por 10 cm y 50 cm, y las partículas que pertenecen al árido grueso, menores < 5 cm (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).
- ✓ En el caso de mostrar un asentamiento > a 7.5 cm se dará uso de una varilla compactadora, aquel que debe ser necesariamente metálica, lisa y cilíndrica, para

compactar, si el asentamiento < 2.5 cm se utilizará un vibrador, aquel que tendrá que cumplir para los requisitos de este tipo de estudio de ensayo (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).

- ✓ Obteniendo la mezcla en moldes aceitados se golpeará cada 14 cm², considerando el vibrador solo en casos que el hormigón no empiece a fluir evitando segregar el contenido (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).
- ✓ En los casos que se realice vibración interna se ejecutará la actividad cada 15 cm a lo largo del eje (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).
- ✓ Respecto a la preparación de la superficie de los moldes deben colocarse 24 horas antes en una superficie libremente llana de vibración alguna, y a 16°C a 27°C de temperatura normal (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).
- ✓ De encontrarse en el alcance, se debe efectuar el desencoframiento 24 horas después y se debe realizar el almacenamiento en un ambiente húmedo por completo (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).
- ✓ Respecto a las vigas finalmente elaboradas para realizar el estudio mediante ensayo debe estar en condición húmeda a la que se aplicará cargas constantes de 8.8 a 12.4 kg/cm²/min, hasta llegar al fallo del espécimen (Kosmatka & Kerkhoff, 2004).

CAPITULO III.

Metodología de la investigación

3.1. Perspectiva metodológica

La perspectiva adoptada en esta investigación es cuantitativa- correlacional, por razones que se han cuantificado las variables empleadas en forma sistemática a través del uso de un laboratorio especializado guiado por normas establecidas (NTP) para obtener los datos necesarios que me permitirán correlacionar las variables presentadas (resistencia a la compresión y flexión del hormigón).

3.2. Tipo de investigación

Identificado como aplicado, porque las antecedentes, bases teóricas, normativas, representan una base científica que nos conduce a la experimentación confiable, según

los conocimientos en cuanto al proceso ya estipulados; por ejemplo, los métodos para el diseño de mezcla del hormigón, resistencia a la flexión, resistencia a la compresión del concreto elaborado.

3.3. Diseño de la investigación

Está determinada como experimental, donde se da la existencia de una manejabilidad de las variables (independiente y dependiente), donde se puede observar que se manejan los porcentajes de la variable independiente y esto queda reflejado en la variable dependiente el cual se hallaran los factores cuantificables en cuanto a la resistencia del concreto en relación a su flexión y compresión nominal. De tipo de experimento experimental, donde los grupos experimentales ya se encuentran asignados ante la experimentación, intentando alcanzar la validez confiable e interna dentro de un proceso y equivalencia en los grupos conformados para generar un análisis comparativo de valores obtenidos.

3.4. Población y muestra

Es el concreto Patrón $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa, fabricados con agregados naturales y el concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa, con la incorporación del 50% y 100% de espeleotema, como agregado grueso en la localidad de Churin, distrito de Pachangara – Oyon - Lima.

3.5. Muestra

Se elaboraron y ensayaron 120 testigos de concreto, aquellas subdivididas en cuatro grupos detallados a continuación:

- ✓ Para el ensayo de resistencia a la compresión: 02 grupos son para el ensayo de resistencia a la compresión $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa en el cual, dentro del

grupo existe 03 grupos que vendría a ser el grupo patrón, 50% y 100%, donde se requirió 5 especímenes de testigos por cada dosificación a edades del concreto de 7 y 28 días de curado, haciendo un total de 30 unidades.

- ✓ Para el ensayo resistencia a la flexión: se ejecutaron la misma experimentación en cuanto a la división de grupos, etc. haciendo un total en cuanto a la población de 120 unidades.

Respecto a las dimensiones necesarias y según normativa para los dos tipos de ensayos, se enmarca lo siguiente, son probetas cilíndricas, de 15 cm de diámetro y altura de 30 cm para los especímenes a experimentar en el ensayo de resistencia a la compresión; mientras que, en el caso del ensayo de flexión tienen dimensiones de longitud 50 cm y 15 cm por 15 cm de sección, formando un rectángulo.

Tabla 18

Cantidades de especímenes según ensayo (población y muestra)

Ensayo	Concreto	Edades	Patrón	50%	100%	Subtotal
Resistencia a la compresión	f _c =21.0 Mpa	7 días	5	5	5	15
		28 días	5	5	5	15
		7 días	5	5	5	15
		28 días	5	5	5	15
Resistencia a la flexión	f _c =17.5 Mpa	7 días	5	5	5	15
		28 días	5	5	5	15
		7 días	5	5	5	15
		28 días	5	5	5	15
Total						120

3.6. Técnicas de recolección de datos y análisis de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Se tomaron los datos de los experimentos realizados en el laboratorio y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 19*Técnicas de recolección de datos*

Variables dependientes	Fuente	Datos de recolección	
		Técnicas	Instrumentos
Propiedades mecánicas Resistencia a la compresión y flexión de concreto.	Experimento (Probetas de concreto ensayados en el laboratorio).	Observación	-Formato y fichas de análisis de laboratorio. -Informe de reporte de ensayos de laboratorio - Diseño de mezcla (Comité de diseño 211 ACI)

3.6.2. Análisis de datos

Respecto al análisis de resultados, se evaluó la diferencia significativa en cuanto a la variabilidad de resistencias obtenidas tanto a la compresión y flexión a los 7 y 28 días del concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso. Para ejecutar este análisis se crearon gráficos y tablas de forma explícita aplicando la estadística, empleando un programa fundamental para estos resultados.

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

3.7.1. Obtención de los agregados

A. Agregados naturales

Los agregados naturales captados para la investigación de arena y piedra pertenecen a la exploración de la cantera “Rumillama Nava”. Esta cantera se localiza en la localidad de Nava, distrito de Oyon, provincia de Oyon, Departamento de Lima en el kilómetro 115 de la panamericana norte tomas el desvío hacia el este o desvío río seco, es camino asfaltado y se recorren 219 km desde Lima, a 12 km desde la localidad de Churin.

La cantera seleccionada, tiene características de explotación a lo largo de los años como por contener agregados angulosos, grano grueso con arena cubierta, cantos rodados de 8 pulgadas y grava sub redondeadas; con un volumen aproximado de 100 mil metros cúbicos.

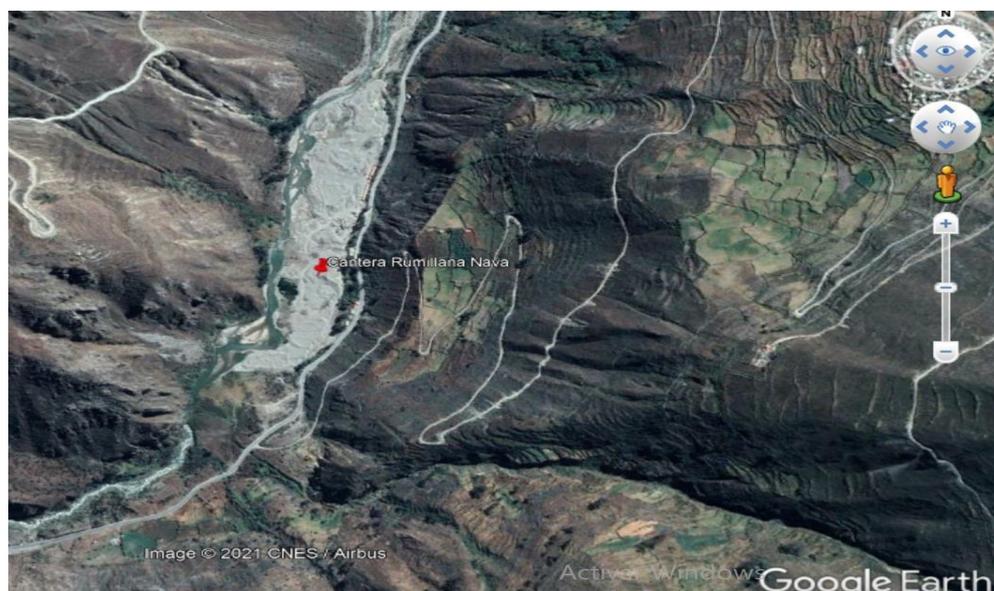
Tabla 20

Ubicación geográfica de la cantera Rumillama - Nava

NORTE	ESTE	COSTA (m.s.n.m)
812869.11	298080.80	2831

Figura 3

Ubicación de la cantera Rumillama - Nava



Nota. El gráfico representa la localización de la cantera, donde se extraen agregados gruesos y finos naturales para la localidad de Churin. Tomada de Google Earth, 2020.

B. Espeleotema

Se obtuvo el material espeleotema de la cantera Urb. San Juan de Churin, Mz. “A”, Lt. N°04 en el distrito de Pachangara, Churin, se encuentra ubicado a 207 Km al noreste de la ciudad de Lima, geográficamente como parte de la gran cordillera de

los andes en el Perú y específicamente sobre el margen del rio Huaura de la región Lima.

En esta localización, se hallan las temperaturas y climas templados del Perú, donde se ha medido una temperatura de 8 – 28 °C, donde el periodo de lluvias aparece entre diciembre y marzo, y especialmente se han identificado dos estaciones climatológicas variables.

Tabla 21

Ubicación geográfica de la cantera Urb. San Juan de Churin

NORTE	ESTE	COTA (m.s.n.m)
803772.23	294661.00	2265.00

Figura 4

Ubicación de la cantera Urb. San Juan de Churin



Nota. La imagen representa la localización de la Cantera. Google Earth, (2020).

Figura 5

Proceso de extracción del espeleotema



3.7.2. Determinación de las propiedades y características de los agregados

❖ Propiedades físicas de los agregados.

Análisis granulométrico: NTP 400.012.

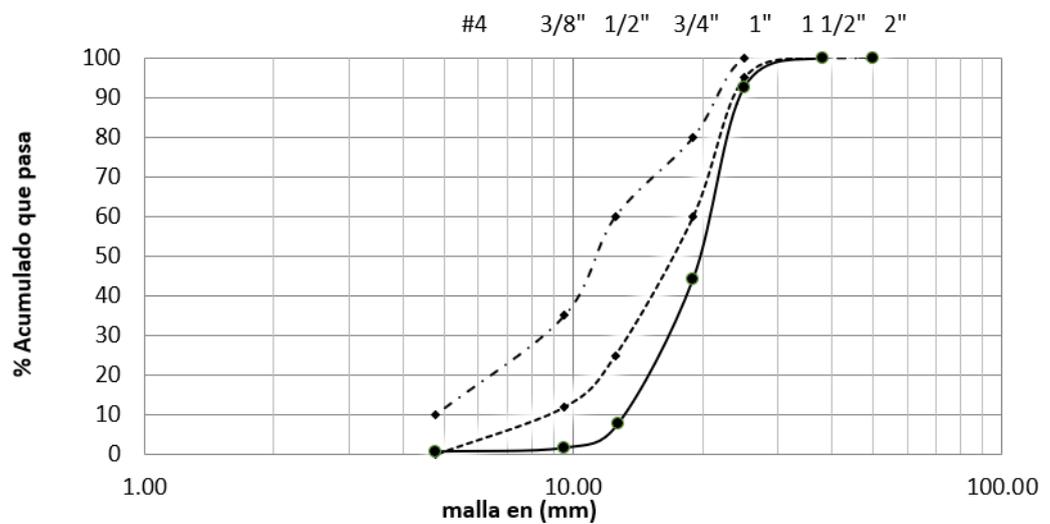
✚ Agregado grueso.

- Selección, acopio y pesó del material.
- El material escogido es llevado al horno a una temperatura de 110° C durante 24 horas.
- Seguidamente se realiza el tamizado del agregado por las mallas de 2'', 1 ½'', 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'' y N.º 4, posteriormente para pesar los volúmenes retenidos.
- Posteriormente, se procedió a calcular el porcentaje retenido, acumulado retenido parcial, y por último el porcentaje que pasa.
- Por último, se genera graficas con los datos calculados según la gradación del material, finalmente en uso de un programa.

A. Análisis granulométrico por tamizado para el agregado grueso (patrón).

El procedimiento del análisis granulométrico del agregado grueso fue realizado en el laboratorio Geoestruct, de donde gráfico resultante del tamizado del agregado patrón, se muestra de la siguiente manera:

Figura 6
Análisis granulométrico por tamizado para el Agregado grueso (Patrón)



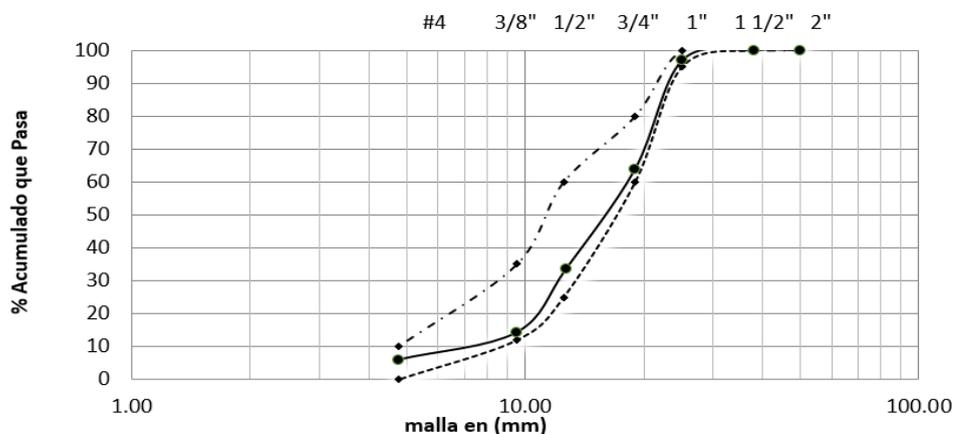
Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

B. Análisis granulométrico por tamizado para el agregado grueso (50% Agregado – 50% espeleotema).

El procedimiento del análisis granulométrico fue realizado en el laboratorio Geoestruct, de donde gráfico resultante del tamizado del agregado natural al 50% y espeleotema al 50%, se muestra de la siguiente manera:

Figura 7

Análisis granulométrico por tamizado (50% AGN -50% ESP.)



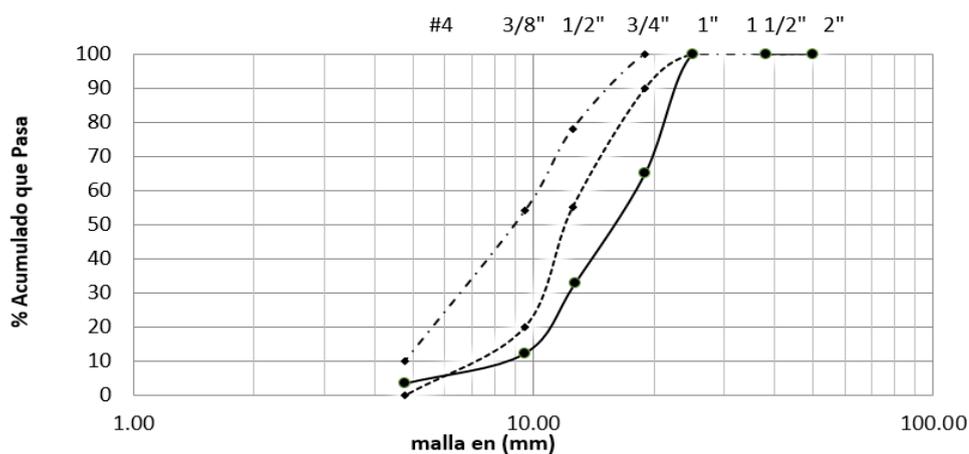
Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

C. Análisis granulométrico por tamizado para el Agregado grueso (100% espeleotema)

El procedimiento del análisis granulométrico fue realizado en el laboratorio Geoestruct, de donde gráfico resultante del tamizado del agregado espeleotema al 100%, se muestra de la siguiente manera:

Figura 8

Análisis Granulométrico por Tamizado (100% ESP.)



Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

+ Agregado fino.

- Se escogió y se pesó la muestra.

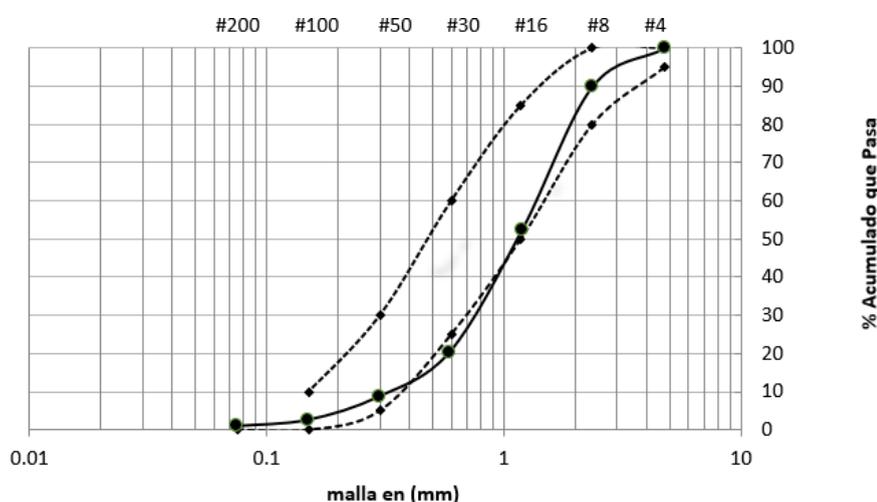
- El material escogido es llevado al horno a una temperatura de 110° C durante 24 horas.
- Seguidamente se realiza el tamizado del agregado por las mallas de N° 4, N° 8, N° 16, N°30, N° 50 N° 100 y N200, donde el volumen ha sido pesado respectivamente.
- Posteriormente, se procedió a calcular el porcentaje retenido, acumulado retenido parcial, y por último el porcentaje que pasa.
- Por último, se genera graficas con los datos calculados según la gradación del material, finalmente en uso de un programa.
- Para este ensayo se usó para medir el peso, una balanza analítica de 0.1 gr de precisión fija.

A. Análisis granulométrico por tamizado para el agregado fino

El procedimiento del ensayo de análisis granulométrico fue realizado en el laboratorio Geoestruct, donde los datos obtenidos permitieron generar el gráfico resultante del tamizado del agregado fino, y se muestra de la siguiente manera:

Figura 9

Análisis granulométrico por tamizado para el agregado fino



Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

Peso específico y absorción: NTP 400.022.

❖ Agregado grueso.

- Inicialmente se procedió al secado del árido grueso
- Posteriormente se reservó durante 24 horas el componente en un recipiente adecuado de agua.
- Luego, se pasó por un proceso de secado con algún material del material extendido.
- Aplicando la vista, se reconoció si el material se encontraba saturado con superficie seca.
- Se procedió a escoger una canastilla conociendo su peso para colocar seguidamente el material seleccionado, para posteriormente pesarla en estado sumergido.
- Finalmente, posterior a 24 horas se pesó aquel material post secado en el horno para tener el peso anhidro de la muestra seleccionada.

❖ Agregado fino.

- Inicialmente se seleccionó el material para mantenerlo saturado en la superficie seca.
- Consecuentemente, se realizó el pesado de la muestra al aire en la condición anterior.
- Posteriormente, se pesó el envase fiola (W_{mol}), para cuantificar.
- Ahora, se procedió a llenar la fiola con el material, formando un cono de papel, para agitar agregando agua hasta la altura determinada.
- Luego del agitado se adicionó 500 mm para pesarlo posteriormente, mientras se sumerge la muestra seleccionada en condición inicial.

- Finalmente, el material final es colocado en un recipiente, donde en el acto se eliminó el agua y el agregado se ubicó en una tara donde se procedió a realizar el secado, para luego de 24 horas ejecutar el pesado anhidro del agregado seleccionado.

A. Peso específico y absorción para el agregado fino y el agregado grueso (Patrón).

El procedimiento del ensayo de absorción y peso específico de los áridos fino y grueso fue realizado en Geoestruct, donde los datos obtenidos permitieron generar las tablas mostradas, exponiendo resultados de la consecuentemente:

Tabla 22

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino y agregado grueso (Patrón)

AGREGADO	FINO	GRUESO (PATRON)
Tamaño máximo de la muestra	Malla N°4	1”
Peso específico	2.44	2.49
Porcentaje de absorción	2.24	1.18

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

B. Peso específico y absorción para el agregado fino y el agregado grueso (50% AGN – 50% ESP.).

El procedimiento del ensayo de absorción y peso específico de los áridos fino y grueso (50% Agn – 50% esp.) fue realizado en el laboratorio Geoestruct, donde los datos obtenidos permitieron generar las tablas expuestas, exponiendo resultados:

Tabla 23

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino y agregado grueso (50% Agregado – 50%espeleotema).

AGREGADO	FINO	GRUESO (PATRON)
Tamaño máximo de la muestra	Malla N°4	1”
Peso específico	2.44	
	2.49	
Porcentaje de absorción	2.24	1.18

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

C. Peso específico y absorción para el agregado fino y el agregado grueso (100% espeleotema).

El procedimiento del ensayo de absorción y peso específico de los áridos fino y grueso (100%esp.) fue realizado en el laboratorio Geoestruct, donde los datos obtenidos permitieron generar las tablas expuestas, exponiendo resultados prospectivamente:

Tabla 24

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino y agregado grueso (100% espeleotema)

AGREGADO	FINO	GRUESO (PATRON)
Tamaño máximo de la muestra	Malla N°4	3/4”
Peso específico	2.44	2.45
Porcentaje de absorción	2.24	1.36

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

Peso unitario: NTP 400.017.

➤ **Agregado grueso.**

Peso unitario suelto:

- Inicialmente, se realizó el pesado del molde (W mol).
- Posteriormente, se ubicó en el molde el material seleccionado en estado seco.

- Luego, se enrazó con la varilla y se realizó el pesado de (W mol + muestra).
- Anotando que el procedimiento se realizó 3 ocasiones para obtener promedios.

Peso unitario compactado:

- Inicialmente, se realizó el pesado del molde (W mol)
- Teniendo en consideración el vaciado de 1/3 del volumen, se realizaron golpes en 25 veces con la varilla condicionada, asimismo, al agregar al nivel 2/3 y finalmente la misma cantidad de golpes internos.
- Luego, se enrazó con la varilla y se realizó el pesado de (W mol + muestra)
- Anotando que el procedimiento se realizó 3 ocasiones para obtener promedios.

A. Peso unitario para el agregado grueso (Patrón).

El procedimiento del ensayo de peso unitario suelto y compactado de árido grueso (100% Agn) fue realizado en el laboratorio Geoestruct, donde los datos obtenidos permitieron generar las siguientes tablas, exponiendo resultados de la siguiente manera:

Tabla 25

Resumen general de Peso unitario agregado grueso (Patrón)

TIPO DE PESO UNITARIO	Peso Unitario Suelto			Peso Unitario Compactado		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
Peso Unitario (Ton/m3)	0.84	0.83	0.84	1.02	0.99	1.017
Peso Unitario Promedio (Ton/m3)	0.836			1.009		

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

B. Peso unitario para el agregado grueso (50% AGN – 50% ESP.)

El procedimiento del estudio de ensayo de peso compactado y unitario suelto del árido grueso (50% Agn – 50% esp.) fue realizado en Geoestruct laboratorio, donde los datos hallados permitieron generar las siguientes tablas, exponiendo resultados de la siguiente manera:

Tabla 26

Peso unitario agregado grueso (50% Agregado – 50% espeleotema)

TIPO DE PESO UNITARIO	Peso Unitario Suelto			Peso Unitario Compactado		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
Peso Unitario (Ton/m ³)	0.84	0.83	0.84	1.02	0.99	1.017
Peso Unitario Promedio (Ton/m ³)	0.836			1.009		

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

C. Peso unitario para el agregado grueso (100% ESP).

El procedimiento del estudio de ensayo compactado y peso unitario suelto del árido grueso (100% esp.) fue realizado en el Geoestruct laboratory, donde los valores hallados permitieron generar las siguientes tablas, exponiendo resultados de la siguiente manera:

Tabla 27

Peso unitario agregado grueso (100% espeleotema)

TIPO DE PESO UNITARIO	Peso Unitario Suelto			Peso Unitario Compactado		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
Peso unitario (ton/m ³)	1.224	1.398	1.243	1.347	1.365	1.318
Peso unitario promedio (Ton/m ³)	1.288			1.343		

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

➤ Agregado fino.

Peso unitario suelto:

- Inicialmente, se realizó el pesado del molde (W_{mol}).
- Posteriormente, se ubicó en el molde el material seleccionado en estado seco.
- Luego, se enrazó con la varilla y se realizó el pesado de ($W_{mol} + \text{muestra}$).
- Anotando que el procedimiento se realizó 3 ocasiones para obtener promedios.
- El peso unitario suelto se halló de la misma forma que el árido grueso.

Peso unitario compactado:

- Inicialmente, se realizó el pesado del molde (W_{mol})
- Teniendo en consideración el vaciado de $1/3$ del volumen, se realizaron golpes en 25 veces con la varilla condicionada, asimismo, al agregar al nivel $2/3$ y finalmente la misma cantidad de golpes internos.
- Luego, se enrazó con la varilla y se realizó el pesado de ($W_{mol} + \text{muestra}$)
- Anotando que el procedimiento se realizó 3 ocasiones para obtener promedios.
- El peso unitario suelto se halló de la misma forma que el árido grueso.

A. Peso unitario para el agregado fino

El procedimiento del estudio de ensayo de peso compactado y unitario suelto de árido fino (100% Agn) fue realizado en el laboratorio Geoestruct, donde los datos obtenidos permitieron generar las siguientes tablas, exponiendo resultados de la siguiente manera:

Tabla 28

Peso unitario agregado fino unitario suelto y compactado

TIPO DE PESO UNITARIO	Peso Unitario			Peso Unitario		
	Suelto			Compactado		
MUESTRA N°	1	2	3	1	2	3
Peso Unitario (Ton/m3)	1.19	1.19	1.22	1.34	1.33	1.36
Peso Unitario Promedio (Ton/m3)	1.197			1.34		

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

Contenido de humedad: NTP 339.185.

- **Agregado grueso.**
 - Para empezar, se realiza el pesado de la tara (Wt).
 - Complementando la primera acción se agrega árido grueso de 500 gr. en la tara para pesarla de igual manera con el contenido.
 - Luego, se procede a realizar el secado del árido grueso en estufa durante 24 horas.
 - Posteriormente, se pesó el contenido y tara para obtener el dato y cálculo de la humedad en porcentaje (Ws).
 - Anotando que el procedimiento se realizó 3 ocasiones para obtener promedios.

A. Contenido de humedad del agregado grueso (Patrón).

El procedimiento del ensayo de contenido de humedad % del árido grueso (100% Ag.) fue realizado en el laboratorio Geoestruct, donde los datos obtenidos permitieron generar las siguientes tablas, exponiendo resultados de la siguiente manera:

Tabla 29*Contenido de humedad agregado grueso (Patrón)*

Muestra	M-01 -PATRON	
Contenido de humedad (%)	2.78	2.07
Humedad promedio (%)	2.43	

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.**B. Contenido de humedad del agregado grueso (50% AGN – 50% ESP.)**

El procedimiento del ensayo de contenido de porcentaje de humedad del árido grueso (50% Agn – 50% esp.) fue realizado en el laboratorio Geoestruct, donde los valores obtenidos permitieron generar las tablas expuestas, exponiendo resultados de la siguiente manera:

Tabla 30*Contenido de humedad agregado grueso (50% Agregado – 50% espeleotema)*

Muestra	M 01 -50% AGN – 50 % ESP.	
Contenido de humedad (%)	2.78	2.07
Humedad promedio (%)	2.43	

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.**C. Contenido de humedad del agregado grueso (100% Esp).**

El procedimiento del ensayo de contenido de porcentaje de humedad del árido grueso (100% esp.) fue realizado en el laboratorio Geoestruct, donde los datos hallados permitieron generar las tablas expuestas, exponiendo resultados de la siguiente manera:

Tabla 31

Contenido de humedad agregado grueso (100% espelotema)

Muestra	M-01 -100% ESP.	
Contenido de humedad (%)	0.99	0.97
Humedad promedio (%)	0.98	

Nota. Extraído de informe GEOSTRUCT.

- **Agregado fino.**

- Se realizó los mismos procesos respecto al anterior punto.

A. Contenido de humedad del agregado fino.

El proceso del ensayo de contenido porcentual de humedad del árido fino (100% agregado) fue ejecutado en Geoestruct Laboratory, donde los valores hallados permitieron generar tablas expuestas, exponiendo resultados de la siguiente manera:

Tabla 32

Contenido de humedad agregado fino

Muestra	M-01	
Contenido de humedad (%)	5.11	4.66
Humedad promedio (%)	4.89	

Nota. Geostruct (Laboratorio de mecánica de suelos).

3.7.3. Diseño de mezcla empleando el método del comité ACI 211

A. Diseño de mezcla del concreto $f'c=17.5$ MPa (patrón)

 **Propiedades de los agregados (patrón)**

Tabla 33

*Parámetros de propiedades del agregado fino y agregado grueso (Patrón),
 $f'c=17.5\text{ MPa}$*

Propiedades	Agregado fino	Agregado grueso (patrón)
Módulo de fineza	3.26	-
Tamaño máximo nominal	-	1"
Peso específico de masa (tn/m^3)	2.44	2.49
Absorción (%)	2.24	1.18
Peso seco unitario suelto (kg/m^3)	1197	836
Peso seco compactado (kg/m^3)	1340	1009
Contenido de humedad (%)	4.89	2.43

✚ Elección de la resistencia promedio.

Para el caso, para hallar la desviación estándar se da la inexistencia de datos, donde se toma entonces para el caso un factor de 70 (kg/cm^2) recomendado por el criterio 318 del ACI. (ver tabla 9)

Entonces, la resultante promedio en resistencia es:

$$f'_{cr} = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

✚ Elección del asentamiento (Slump).

3" a 4" fue elegido para el diseño correspondiente como asentamiento, porque las condiciones de la actividad lo ameritan, con el fin de mantener una mezcla plástica en consistencia.

✚ Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

Respecto a la determinación y elección, se eligió el tamaño máximo nominal de 1" cumpliendo con la recomendación del ACI y RNE. Además, considerando el respectivo espacio libre de 3/4 entre las barras y la menor dimensión entre las caras de encofrados.

+ Estimación del agua de mezclado y aire

Respecto a la determinación del aire y agua para el diseño seleccionado se tomó en cuenta la tabla 12, el cual nos proporciona parámetros para hallar el volumen de agua necesario para el diseño, considerando entonces el slump dentro del rango de 3" a 4" para mezcla. Respecto al aire incorporado se toma en cuenta el tamaño máximo nominal (1") para el árido grueso. Realizado la determinación, el agua resulta (193 lt/m³) y el aire el 1.5%.

+ Selección de la relación agua/cemento (A/C).

Para el cálculo de este factor, se empleó la tabla 14 proveniente del ACI, contando con una resistencia promedio de 245 kg/cm² del hormigón sin aire incorporado, se halló realizando una interpolación que la proporción o factor agua/cemento resulta de 0.60.

+ Cálculo del contenido de cemento.

Con el cálculo anterior, se pudo realizar el hallar el volumen de agua de forma unitaria, teniendo en cuenta el factor o relación agua/cemento:

- Contenido de Cemento: $193/0.60 = 322.00 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de Cemento: $322.00/3110 = 0.103 \text{ m}^3$

+ Cálculo del contenido de agregado grueso y agregado fino.

Para el cálculo respectivo, resulto en un valor de $b/b_0 = 0.65 \text{ m}^3$, teniendo en cuenta la tabla 16 que nos proporciona el ACI, considerando el TMN (1") del agregado grueso, módulo de finura de 3.26; entonces se obtuvo:

- Peso del agregado grueso = $0.65 \times 1009 = 655.85 \text{ kg/m}^3$
- Volumen agregado grueso = $655.85 / 2.49 = 0.26$

✚ Cálculos de volúmenes

Habiendo calculado los volúmenes de agregado grueso, agua y cemento, se realizó la suma de volúmenes absolutos para diferenciar el del agregado fino, de la siguiente forma:

Vol. del cemento	: 0.103
Vol. del agua	: 0.193
Vol. del aire	: 0.015
Vol. del agregado grueso	: <u>0.260</u>
	0.571
Vol. del agregado fino	: $1 - 0.571 = 0.429$
Peso seco del agregado fino	: $0.429 \times 2440 = 1,046.76$

✚ Corrección por humedad y absorción de los agregados

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso humedo(kg)} = 655.85 \left(1 + \frac{2.43}{100}\right) = 672.00$$

$$\text{Peso A. fino humedo(kg)} = 1,046.76 \left(1 + \frac{4.89}{100}\right) = 1088.00$$

Agua Efectiva:

$$\text{Agua . A. grueso} = 655.85 \left(\frac{2.43 - 1.18}{100}\right) = 8.198$$

$$\text{Agua . A. fino} = 1,046.76 \left(\frac{4.89 - 2.24}{100}\right) = 27.482$$

$$\text{Agua . efectiva(lts)} = 193 - (35.68) = 157.32$$

✚ Cálculo de proporciones en Peso

La proporción en peso de los materiales corregida por humedad del agregado serán.

$$\frac{322}{322}; \frac{1088}{322}; \frac{672}{322} / \frac{157.32}{322}$$

- Cemento $322/42.5 = 7.58 \text{ bls/m}^3$

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua
 1 : 3.38 : 2.09/0.49

✚ Proporciones por bolsa: 1 bolsa =42.5 Kg

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua
 42.5 : 143.65 : $\frac{88.8}{20.82 \text{lt/bls}}$

B. Diseño de mezcla del concreto $f'c=17.5 \text{ MPa}$ (50% Agr-50% espeleotema)

✚ Propiedades de los agregados

Tabla 34

Resumen de propiedades del agregado fino y agregado grueso (50% AGN-50% ESP.), $f'c=17.5 \text{ MPa}$

PROPIEDADES	AGREGADO FINO	50% AGN - 50% ESP.
Módulo de Fineza	3.26	-
Tamaño Máximo Nominal	-	1"
Peso específico de masa (tn/m^3)	2.44	2.49
Absorción (%)	2.24	1.18
Peso seco unitario suelto (kg/m^3)	1197	836
Peso seco compactado (kg/m^3)	1340	1009
Contenido de Humedad (%)	4.89	2.43

✚ Elección de la resistencia promedio.

Para el caso, para hallar la desviación estándar se da la inexistencia de datos, donde se toma entonces para el caso un factor de $70 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ recomendado por el criterio 318 del ACI. (ver tabla 9)

Entonces, la resultante promedio en resistencia es:

$$f'_{cr} = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

+ Elección del asentamiento (SLUMP).

3" a 4" fue elegido para el diseño correspondiente como asentamiento, porque las condiciones de la actividad lo ameritan, con el fin de mantener una mezcla plástica en consistencia.

+ Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

Respecto a la determinación y elección, se eligió el tamaño máximo nominal de 1" cumpliendo con la recomendación del ACI y RNE. Además, considerando el respectivo espacio libre de 3/4 entre las barras y la menor dimensión entre las caras de encofrados.

+ Estimación del agua de mezclado y aire

Respecto a la determinación del aire y agua para el diseño seleccionado se tomó en cuenta la tabla 12, el cual nos proporciona parámetros para hallar el volumen de agua necesario para el diseño, considerando entonces el slump dentro del rango de 3" a 4" para mezcla. Respecto al aire incorporado se toma en cuenta el tamaño máximo nominal (1") para el árido grueso. Realizado la determinación, el agua resulta (193 lt/m³) y el aire el 1.5%.

+ Selección de la relación agua/cemento (A/C).

Para el cálculo de este factor, se empleó la tabla 14 proveniente del ACI, contando con una resistencia promedio de 245 kg/cm² del hormigón sin aire incorporado, se halló realizando una interpolación que la relación o factor agua/cemento resulta de 0.60.

✚ Cálculo del contenido de cemento.

Con el cálculo anterior, se pudo realizar el hallar el volumen de agua de forma unitaria, teniendo en cuenta el factor o relación agua/cemento:

- Contenido de Cemento: $193/0.60 = 322.00 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de Cemento: $322.00/3110 = 0.103 \text{ m}^3$

✚ Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino

Para el cálculo respectivo, resulto en un valor de $b/b_0 = 0.65 \text{ m}^3$, teniendo en cuenta la tabla 16 que nos proporciona el ACI, considerando el TMN (1") del agregado grueso, módulo de finura de 3.26; entonces se obtuvo:

- Peso del Agregado grueso = $0.65 \times 1009 = 655.85 \text{ kg/m}^3$
- Volumen Agregado grueso = $655.85 / 2.49 = 0.26$

✚ Cálculos de volúmenes

Habiendo calculado los volúmenes de agregado grueso, agua y cemento, se realiza la suma de volúmenes absolutos para diferenciar el del agregado fino, de la siguiente forma:

Vol. del Cemento	: 0.103
Vol. del Agua	: 0.193
Vol. del Aire	: 0.015
Vol. del Agregado Grueso	: <u>0.260</u>
	0.571
Vol. del Agregado Fino	: $1 - 0.571 = 0.429$
Peso Seco del Agregado Fino	: $0.429 \times 2440 = 1,046.76$

✚ Corrección por humedad y absorción de los agregados

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso humedo(kg)} = 655.85 \left(1 + \frac{2.43}{100}\right) = 672.00$$

$$\text{Peso A. fino humedo(kg)} = 1,046.76 \left(1 + \frac{4.89}{100}\right) = 1088.00$$

Agua Efectiva:

$$\text{Agua . A. grueso} = 655.85 \left(\frac{2.43 - 1.18}{100}\right) = 8.198$$

$$\text{Agua . A. fino} = 1,046.76 \left(\frac{4.89 - 2.24}{100}\right) = 27.482$$

$$\text{Agua . efectiva(lts)} = 193 - (35.68) = 157.32$$

✚ Cálculo de proporciones en peso

La proporción en peso de los materiales corregida por humedad del agregado serán.

$$\frac{322}{322}; \frac{1088}{322}; \frac{672}{322} / \frac{157.32}{322}$$

$$\text{- Cemento } 322/42.5 = 7.58 \text{ bls/m}^3$$

Cemento:	agregado fino:	agregado grueso / agua
1	: 3.38	: 2.09/0.49

✚ Proporciones por bolsa: 1 bolsa =42.5 Kg

Cemento:	agregado fino:	agregado grueso / agua
42.5	: 143.65	: $\frac{88.8}{20.82 \text{lt/bls}}$

C. Diseño de mezcla del concreto $f'c=17.5$ MPa (100% Espeleotema)

✚ Propiedades de los agregados

Tabla 35

*Resumen de Propiedades del Agregado fino y grueso (100% espeleotema),
 $f'c=17.5$ MPa*

Propiedades	Agregado	
	fino	100% esp.
Módulo de fineza	3.26	-
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Peso específico de masa (tn/m ³)	2.44	2.45
Absorción (%)	2.24	1.36
Peso seco unitario suelto (kg/m ³)	1197	1288
Peso seco compactado (kg/m ³)	1340	1343
Contenido de humedad (%)	4.89	0.98

+ Elección de la resistencia promedio.

Para el caso, para hallar la desviación estándar se da la inexistencia de datos, donde se toma entonces para el caso un factor de 70 (kg/cm²) recomendado por el criterio 318 del ACI. (ver tabla 9)

Entonces, la resultante promedio en resistencia es:

$$f'_{cr} = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$$

+ Elección del asentamiento (SLUMP).

3" a 4" fue elegido para el diseño correspondiente como asentamiento, porque las condiciones de la actividad lo ameritan, con el fin de mantener una mezcla plástica en consistencia.

+ Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

Respecto a la determinación y elección, se eligió el tamaño máximo nominal de 1" cumpliendo con la recomendación del ACI y RNE. Además,

considerando el respectivo espacio libre de 3/4 entre las barras y la menor dimensión entre las caras de encofrados.

+ Estimación del agua de mezclado y aire

Respecto a la determinación del aire y agua para el diseño seleccionado se tomó en cuenta la tabla 12, el cual nos proporciona parámetros para hallar el volumen de agua necesario para el diseño, considerando entonces el slump dentro del rango de 3" a 4" para mezcla. Respecto al aire incorporado se toma en cuenta el tamaño máximo nominal (3/4") para el árido grueso. Realizado la determinación, el agua resulta (205 lt/m³) y el aire el 2.0%.

+ Selección de la relación agua/cemento (A/C).

Para el cálculo de este factor, se empleó la tabla 14 proveniente del ACI, contando con una resistencia promedio de 245 kg/cm² del hormigón sin aire incorporado, se halló realizando una interpolación que la relación o factor agua/cemento resulta de 0.62.

+ Cálculo del contenido de cemento.

Con el cálculo anterior, se pudo realizar el hallar el volumen de agua de forma unitaria, teniendo en cuenta el factor o relación agua/cemento:

- Contenido de Cemento: $205/0.62 = 331.00 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de Cemento: $331.00/3110 = 0.106 \text{ m}^3$

+ Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino

Para el cálculo respectivo, resulto en un valor de $b/b_0 = 0.60 \text{ m}^3$, teniendo en cuenta la tabla 16 que nos proporciona el ACI, considerando el TMN (3/4") del agregado grueso, módulo de finura de 3.26; entonces se obtuvo:

- Peso del Agregado grueso = $0.60 \times 1343 = 805.8 \text{ kg/m}^3$

- Volumen Agregado grueso = $805.8 / 2.45 = 0.32$

✚ Cálculos de volúmenes

Habiendo calculado los volúmenes de agregado grueso, agua y cemento, se realiza la suma de volúmenes absolutos para diferenciar el del agregado fino, de la siguiente forma:

Vol. del Cemento : 0.106

Vol. del Agua : 0.205

Vol. del Aire : 0.020

Vol. del Agregado Grueso : 0.320

0.65

Vol. del Agregado Fino : $1 - 0.651 = 0.350$

Peso Seco del Agregado Fino : $0.350 \times 2440 = 854.00$

✚ Corrección por humedad y absorción de los agregados

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso humedo(kg)} = 805.8 \left(1 + \frac{0.98}{100}\right) = 814.00$$

$$\text{Peso A. fino humedo(kg)} = 854.00 \left(1 + \frac{4.89}{100}\right) = 869.00$$

Agua Efectiva:

$$\text{Agua . A. grueso} = 805.80 \left(\frac{0.98 - 1.36}{100}\right) = -3.062$$

$$\text{Agua . A. fino} = 854.00 \left(\frac{4.89 - 2.24}{100}\right) = 21.962$$

$$\text{Agua . efectiva(lts)} = 205 - (18.90) = 186.10$$

✚ Cálculo de proporciones en peso

La proporción en peso de los materiales corregida por humedad del agregado serán.

$$\frac{331}{331}; \frac{869}{331}; \frac{814}{331} / \frac{186.10}{331}$$

- Cemento 331/42.5 = 7.79 bls/m³

Cemento:	agregado fino:	agregado grueso / agua
1	: 2.63	: 2.46/0.56

✚ Proporciones por bolsa: 1 bolsa =42.5 Kg

Cemento:	agregado fino:	agregado grueso / agua
1	: 111.77	: $\frac{104.55}{23.80lt/bls}$

D. Diseño de mezcla del concreto f'c=21.0 MPa (Patrón)

✚ Propiedades de los agregados (patrón)

Tabla 36

Resumen de propiedades del agregado fino y grueso (patrón), f'c=21.0 MPa

Propiedades	Agregado fino	Agregado grueso (patrón)
Módulo de fineza	3.26	-
Tamaño máximo nominal	-	1"
Peso específico de masa (tn/m ³)	2.44	2.49
Absorción (%)	2.24	1.18
Pesox seco unitario suelto (kg/m ³)	1197	836
Peso seco compactado (kg/m ³)	1340	1009
Contenido de humedad (%)	4.89	2.43



+ Elección de la resistencia promedio.

Para el caso, para hallar la desviación estándar se da la inexistencia de datos, donde se toma entonces para el caso un factor de 84 (kg/cm^2) recomendado por el criterio 318 del ACI. (ver tabla 9)

Entonces, la resultante promedio en resistencia es:

$$f'_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

+ Elección del asentamiento (slump).

3" a 4" fue elegido para el diseño correspondiente como asentamiento, porque las condiciones de la actividad lo ameritan, con el fin de mantener una mezcla plástica en consistencia.

+ Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

Respecto a la determinación y elección, se eligió el tamaño máximo nominal de 1" cumpliendo con la recomendación del ACI y RNE. Además, considerando el respectivo espacio libre de 3/4 entre las barras y la menor dimensión entre las caras de encofrados.

+ Estimación del agua de mezclado y aire

Respecto a la determinación del aire y agua para el diseño seleccionado se tomó en cuenta la tabla 12, el cual nos proporciona parámetros para hallar el volumen de agua necesario para el diseño, considerando entonces el slump dentro del rango de 3" a 4" para mezcla. Respecto al aire incorporado se toma en cuenta el tamaño máximo nominal (1") para el árido grueso. Realizado la determinación, el agua resulta (193 lt/m^3) y el aire el 1.5%.

+ Selección de la relación agua/cemento (A/C).

Para el cálculo de este factor, se empleó la tabla 14 proveniente del ACI, contando con una resistencia promedio de 294 kg/cm^2 del hormigón sin aire incorporado, se halló realizando una interpolación que la relación o factor agua/cemento resulta de 0.51

✚ Cálculo del contenido de cemento.

Con el cálculo anterior, se pudo realizar el hallar el volumen de agua de forma unitaria, teniendo en cuenta el factor o relación agua/cemento:

- Contenido de Cemento: $193/0.51 = 378.00 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de Cemento: $378.00/3110 = 0.121 \text{ m}^3$

✚ Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino

Para el cálculo respectivo, resulto en un valor de $b/b_0 = 0.65 \text{ m}^3$, teniendo en cuenta la tabla 16 que nos proporciona el ACI, considerando el TMN (1") del agregado grueso, módulo de finura de 3.26; entonces se obtuvo:

- Peso del Agregado grueso = $0.65 \times 1009 = 655.85 \text{ kg/m}^3$
- Volumen Agregado grueso = $655.85 / 2.49 = 0.26$

✚ Cálculos de volúmenes

Habiendo calculado los volúmenes de agregado grueso, agua y cemento, se realiza la suma de volúmenes absolutos para diferenciar el del agregado fino, de la siguiente forma:

Vol. del Cemento	: 0.121
Vol. del Agua	: 0.193
Vol. del Aire	: 0.015
Vol. del Agregado Grueso	: <u>0.260</u>
	0.589

$$\text{Volumen del Agregado Fino} : 1 - 0.589 = 0.411$$

$$\text{Peso Seco del Agregado Fino} : 0.411 \times 2440 = 1,002.84$$

✚ Corrección por humedad y absorción de los agregados

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso humedo(kg)} = 655.85 \left(1 + \frac{2.43}{100}\right) = 672.00$$

$$\text{Peso A. fino humedo(kg)} = 1,002.84 \left(1 + \frac{4.89}{100}\right) = 1042.00$$

Agua Efectiva:

$$\text{Agua . A. grueso} = 655.85 \left(\frac{2.43 - 1.18}{100}\right) = 8.198$$

$$\text{Agua . A. fino} = 1,002.84 \left(\frac{4.89 - 2.24}{100}\right) = 26.575$$

$$\text{Agua . efectiva(lts)} = 193 - (34.77) = 158.48$$

✚ Cálculo de proporciones en peso

La proporción en peso de los materiales corregida por humedad del agregado serán.

$$\frac{378}{378}; \frac{1042}{378}; \frac{672}{378} / \frac{158.48}{378}$$

$$\text{- Cemento } 378/42.5 = 8.89 \text{ bls/m}^3$$

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua

$$1 \quad : \quad 2.76 \quad : \quad 1.78/0.42$$

✚ Proporciones por bolsa: 1 bolsa =42.5 Kg

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua

$$42.5 \quad : \quad 117.3 \quad : \quad \frac{75.65}{17.85 \text{lt/bls}}$$

E. Diseño de mezcla del concreto $f^c=21.0$ MPa (50% agr-50% espeleotema)

✚ Propiedades de los agregados

Tabla 37

*Resumen de Propiedades del agregado fino y grueso (50% agre.-50% esp.),
 $f^c = 21 \text{ MPa}$*

Propiedades	Agregado fino	50% Agreg. - 50% esp.
Módulo de fineza	3.26	-
Tamaño máximo nominal	-	1"
Peso específico de masa (tn/m^3)	2.44	2.49
Absorción (%)	2.24	1.18
Peso seco unitario suelto (kg/m^3)	1197	836
Peso seco compactado (kg/m^3)	1340	1009
Contenido de humedad (%)	4.89	2.43

✚ Elección de la resistencia promedio.

Para el caso, para hallar la desviación estándar se da la inexistencia de datos, donde se toma entonces para el caso un factor de 84 (kg/cm^2) recomendado por el criterio 318 del ACI. (ver tabla 9)

Entonces, la resultante promedio en resistencia es:

$$f^c_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

✚ Elección del asentamiento (Slump).

3" a 4" fue elegido para el diseño correspondiente como asentamiento, porque las condiciones de la actividad lo ameritan, con el fin de mantener una mezcla plástica en consistencia.

✚ Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

Respecto a la determinación y elección, se eligió el tamaño máximo nominal de 1" cumpliendo con la recomendación del ACI y RNE. Además, considerando el respectivo espacio libre de 3/4 entre las barras y la menor dimensión entre las caras de encofrados.

✚ Estimación del agua de mezclado y aire

Respecto a la determinación del aire y agua para el diseño seleccionado se tomó en cuenta la tabla 12, el cual nos proporciona parámetros para hallar el volumen de agua necesario para el diseño, considerando entonces el slump dentro del rango de 3" a 4" para mezcla. Respecto al aire incorporado se toma en cuenta el tamaño máximo nominal (1") para el árido grueso. Realizado la determinación, el agua resulta (193 lt/m³) y el aire el 1.5%.

✚ Selección de la relación agua/cemento (A/C).

Para el cálculo de este factor, se empleó la tabla 14 proveniente del ACI, contando con una resistencia promedio de 294 kg/cm² del hormigón sin aire incorporado, se halló realizando una interpolación que la relación o factor agua/cemento resulta de 0.51.

✚ Cálculo del contenido de cemento.

Con el cálculo anterior, se pudo realizar el hallar el volumen de agua de forma unitaria, teniendo en cuenta el factor o relación agua/cemento:

- Contenido de Cemento: $193/0.51 = 378.00 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de Cemento: $378.00/3110 = 0.121 \text{ m}^3$

✚ Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino

Para el cálculo respectivo, resulto en un valor de $b/b_0 = 0.65 \text{ m}^3$, teniendo en cuenta la tabla 16 que nos proporciona el ACI, considerando el TMN (1") del agregado grueso, módulo de finura de 3.26; entonces se obtuvo:

$$\text{Peso del Agregado grueso} = 0.65 \times 1009 = 655.85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado grueso} = 655.85 / 2.49 = 0.26$$

✚ Cálculos de volúmenes

Habiendo calculado los volúmenes de agregado grueso, agua y cemento, se realiza la suma de volúmenes absolutos para diferenciar el del agregado fino, de la siguiente forma:

$$\text{Vol. del Cemento} \quad : 0.121$$

$$\text{Vol. del Agua} \quad : 0.193$$

$$\text{Vol. del Aire} \quad : 0.015$$

$$\text{Vol. del Agregado Grueso} : \underline{0.260}$$

$$0.589$$

$$\text{Vol. del Agregado Fino} \quad : 1 - 0.589 = 0.411$$

$$\text{Peso Seco del Agregado Fino} \quad : 0.411 \times 2440 = 1,002.84$$

✚ Corrección por humedad y absorción de los agregados

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso humedo(kg)} = 655.85 \left(1 + \frac{2.43}{100}\right) = 672.00$$

$$\text{Peso A. fino humedo(kg)} = 1,002.84 \left(1 + \frac{4.89}{100}\right) = 1042.00$$

Agua Efectiva:

$$\text{Agua . A. grueso} = 655.85 \left(\frac{2.43 - 1.18}{100}\right) = 8.198$$

$$\text{Agua . A. fino} = 1,002.84 \left(\frac{4.89 - 2.24}{100}\right) = 26.575$$

$$\text{Agua efectiva(Its)} = 193 - (34.77) = 158.48$$

✚ Cálculo de proporciones en peso

La proporción en peso de los materiales corregida por humedadx del agregado serán.

$$\frac{378}{378}; \frac{1042}{378}; \frac{672}{378} / \frac{158.48}{378}$$

$$\text{- Cemento } 378/42.5 = 8.89 \text{ bolsas/m}^3$$

Cemento:	agregado fino:	agregado grueso / agua
1	: 2.76	: 1.78/0.42

✚ Proporciones por bolsa: 1 bolsa =42.5 Kg

Cemento:	agregado fino:	agregado grueso / agua
42.50	: 117.3	: $\frac{75.65}{17.85 \text{lt/bls}}$

F. Diseño de mezcla del concreto $f'c=21.0$ MPa (100% espeleotema)

✚ Propiedades de los agregados

Tabla 38

Resumen de propiedades del agregado fino y grueso (100% espeleotema), $f'c=21.0$ MPa

Propiedades	<u>Agregado fino</u>	100% esp.
Módulo de fineza	3.26	-
Tamaño máximo nominal	-	3/4"
Peso específico de masa (tn/m ³)	2.44	2.45
Absorción (%)	2.24	1.36
Peso seco unitario suelto (kg/m ³)	1197	1288
Peso seco compactado (kg/m ³)	1340	1343
Contenido de humedad (%)	4.89	0.98

+ Elección de la resistencia promedio.

Para el caso, para hallar la desviación estándar se da la inexistencia de datos, donde se toma entonces para el caso un factor de 84 (kg/cm^2) recomendado por el criterio 318 del ACI. (ver tabla 9)

Entonces, la resultante promedio en resistencia es:

$$f'_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

+ Elección del asentamiento (Slump).

3" a 4" fue elegido para el diseño correspondiente como asentamiento, porque las condiciones de la actividad lo ameritan, con el fin de mantener una mezcla plástica en consistencia.

+ Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

Respecto a la determinación y elección, se eligió el tamaño máximo nominal de 1" cumpliendo con la recomendación del ACI y RNE. Además, considerando el respectivo espacio libre de 3/4 entre las barras y la menor dimensión entre las caras de encofrados.

+ Estimación del agua de mezclado y aire

Respecto a la determinación del aire y agua para el diseño seleccionado se tomó en cuenta la tabla 12, el cual nos proporciona parámetros para hallar el volumen de agua necesario para el diseño, considerando entonces el slump dentro del rango de 3" a 4" para mezcla. Respecto al aire incorporado se toma en cuenta el tamaño máximo nominal (3/4") para el árido grueso. Realizado la determinación, el agua resulta ($205 \text{ lt}/\text{m}^3$) y el aire el 2.0%.

+ Selección de la relación agua/cemento (A/C).

Para el cálculo de este factor, se empleó la tabla 14 proveniente del ACI, contando con una resistencia promedio de 294 kg/cm^2 del hormigón sin aire incorporado, se halló realizando una interpolación que la relación o factor agua/cemento resulta de 0.53.

Cálculo del contenido de cemento.

Con el cálculo anterior, se pudo realizar el hallar el volumen de agua de forma unitaria, teniendo en cuenta el factor ó relación agua/cemento:

- Contenido de Cemento: $205/0.53 = 387.00 \text{ kg/m}^3$
- Volumen de Cemento: $387.00/3110 = 0.124 \text{ m}^3$

Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino

Para el cálculo respectivo, resulto en un valor de $b/b_0 = 0.60 \text{ m}^3$, teniendo en cuenta la tabla 16 que nos proporciona el ACI, considerando el TMN (3/4") del agregado grueso, módulo de finura de 3.26; entonces se obtuvo:

$$\text{Peso del Agregado grueso} = 0.60 \times 1343 = 805.80 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen Agregado grueso} = 805.80 / 2.45 = 0.32$$

Cálculos de volúmenes

Habiendo calculado los volúmenes de agregado grueso, agua y cemento, se realiza la suma de volúmenes absolutos para diferenciar el del agregado fino, de la siguiente forma:

$$\text{Vol. del Cemento} \quad : 0.124$$

$$\text{Vol. del Agua} \quad : 0.205$$

$$\text{Vol. del Aire} \quad : 0.020$$

$$\text{Vol. del Agregado Grueso} \quad : \underline{0.320}$$

0.669

Vol. del Agregado Fino : $1 - 0.669 = 0.331$

Peso Seco del Agregado Fino : $0.331 \times 2440 = 807.64$

✚ Corrección por humedad y absorción de los agregados

Pesos de agregados húmedos:

$$\text{Peso A. grueso humedo(kg)} = 805.8 \left(1 + \frac{0.98}{100}\right) = 814.00$$

$$\text{Peso A. fino humedo(kg)} = 807.64 \left(1 + \frac{4.89}{100}\right) = 823.00$$

Agua Efectiva:

$$\text{Agua .A. grueso} = 805.80 \left(\frac{0.98 - 1.36}{100}\right) = -3.062$$

$$\text{Agua .A. fino} = 807.64 \left(\frac{4.89 - 2.24}{100}\right) = 20.802$$

$$\text{Agua . efectiva(lts)} = 205 - (17.74) = 187.26$$

✚ Cálculo de proporciones en peso

La proporción en peso de los materiales corregida por humedad del agregado serán.

$$\frac{387}{387}; \frac{823}{387}; \frac{814}{387} / \frac{187.26}{387}$$

$$\text{- Cemento } 387/42.5 = 9.11 \text{ bls/m}^3$$

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua

1 : 2.13 : 2.10/0.48

✚ Proporciones por bolsa: 1 bolsa =42.5 Kg

Cemento: agregado fino: agregado grueso / agua

1 : 90.52 : $\frac{89.25}{20.40\text{lt/bls}}$

3.7.4. Elaboración de testigos

Se elaboraron y ensayaron 120 unidades de testigos de hormigón elaborado, donde se han distribuido en 4 grupos: 02 grupos son para el ensayo de resistencia a la compresión $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa y las otros 02 son para el ensayo de resistencia a la flexión $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa.

Teniendo 30 testigos por cada grupo, para 28 días (edad del curado) se fabricaron: 5 testigos patrón (100% agregado natural), 5 testigos (50% agregado grueso natural y 50% Espeleotema), y 5 testigos con un porcentaje de agregado de Espeleotema al 100%. En relación a 7 días (edad del curado) se elaboraron: 5 testigos patrón (100% agregado natural), 5 testigos de árido grueso natural 50% y Espeleotema 50% y 5 testigos con un porcentaje de agregado de Espeleotema de 100%.

Selección de los materiales

El material, responde con tamaño máximo nominal (1") del agregado grueso, y para el espeleotema es de $\frac{3}{4}$ " respecto a este parámetro.

Figura 10

Selección del agregado grueso y fino



Figura 11
Selección del espeleotema



Realizando la mezcla del concreto

En la investigación se utilizó una mezcladora de concreto 11 p3(23Hp), y el porcentaje de los materiales especificados en el diseño de mezcla.

Figura 12

Realizando mezcla de concreto con agreg. naturales y espeleotema



3.7.4.1. Colocación de mezcla de concreto en los moldes para ensayos de resistencia a la compresión

Evitando la exposición al sol, vibración por tránsito peatonal o vehicular, se colocaron moldes en una superficie llana, donde los moldes en condiciones de limpieza con aceite mineral, fueron utilizados para recibir la mezcla, seguidamente del llenado y compactado, realizando golpes en tres capas con una varilla de 2.5 cm (1") desde el interior y con un mazo de goma desde lo exterior.

Figura 13

Vaciado de mezcla de concreto en moldes cilíndricos



Figura 14

Vaciado de mezcla en 3 capas iguales en los moldes cilíndricos



Enumeración, desencofrado de los moldes y curado

Se realiza anotaciones en la parte superior de la muestra cilíndrica indicando la fecha de moldeo, resistencia de diseño posteriormente se realiza el desencofrado de los moldes y

luego se realiza el curado del concreto dentro de los siete días es importante porque es el tiempo en el que el concreto desarrolla su mayor resistencia, el agua toma el papel de hidratar los poros capilares del concreto hasta el día de ensayo de resistencia.

Figura 15

Enumeración y curado de probetas cilíndricas



3.7.4.2. Colocación de mezcla de concreto en los moldes para ensayos de resistencia a la flexión

Teniendo los moldes en un terreno llano y nivelado, también se verifico que los moldes se encuentren limpios, se realizó el llenado y el compactado simultáneamente en todos los moldes en dos capas de la misma forma ejecutando 55 golpes por cada capa con la varilla 1.58 cm de diámetro en la capa interior y realizando en un rango de golpes de 10 15 laterales con el mazo de goma.

Figura 16

Vaciado de mezcla de concreto en moldes rectangulares.



Figura 17

Vaciado de mezcla en 3 capas iguales en los moldes rectangulares



Enumeración, desencofrado de los moldes y curado

Se realiza anotaciones en la parte superior de la muestra rectangular indicando la fecha de moldeo, posteriormente se realiza el desencofrado de los moldes y luego se realiza el curado del concreto dentro de los siete días es importante porque es el tiempo en el que el concreto desarrolla su mayor resistencia, el agua toma el papel de hidratar los poros capilares del concreto hasta el día de ensayo de resistencia.

Figura 18

Enumeración y curado de probetas rectangulares



3.7.5. Ensayos de resistencia a la compresión del concreto

En concordancia con lo que se menciona en la NTP 339.034, se elaboración especímenes con dimensiones de 15 cm x 30 cm ubicados en el bloque inferior de la máquina de ensayo, empleando velocidades constantes de 0.25 ± 0.05 MPa/s hasta visualizar la falla del espécimen; finalmente, se traslada la probeta como desecho posterior a la experimentación, extrayendo el resultado de la prensa hidráulica.

Figura 19

Preparación de probetas y equipos para realizar los ensayos



Figura 20

Ensayos de resistencia a la compresión del concreto



3.7.6. Ensayos de resistencia a la flexión del concreto

El método correspondiente a este ensayo como menciona la NTP 339.079, se realiza en especímenes de dimensiones de 15x15 cm y una longitud de 50 cm, empleando cargas a una velocidad constante, hasta apreciar la falla sobre el concreto.

Figura 21

Ensayos de resistencia a la flexión del concreto



CAPITULO IV.

Resultados y Discusión

Luego de la recopilación, procesamiento y análisis de resultados obtenidos mediante los estudios de ensayos en laboratorio “GEOSTRUCT ingeniería geotécnica estructural y 3R Geoingeniería S.A.C.” (detallados en los anexos) sobre: las características físicas del espeleotema, diseños de mezcla para concreto de $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa; y ensayos para medir la resistencia a la compresión y flexión del concreto.

A continuación, se detalla y expone los resultados divididos de acuerdo a los objetivos específicos:

4.1. Propiedades físicas del espeleotema

El espeleotema estudiado mediante ensayos, proviene de la cantera Urb. San Juan de Churin, Mz. “A”, Lt. N°04 en el distrito de Pachangara – Churin, los datos obtenidos nos permitieron efectuar el diseño de mezcla.

En el Anexo 4. Ensayo de agregados (100% espeleotema), se detalla los ensayos efectuados, desde la granulometría, peso específico, porcentaje de absorción, peso seco unitario suelto, peso seco compactado y contenido de humedad. A continuación, se presenta de forma resumida los parámetros elementales:

A. Propiedades físicas del espeleotema.

Tabla 39

Resumen de las propiedades físicas del espeleotema

Propiedades	Espeleotema
Tamaño máximo nominal	3/4”
Peso específico de masa (tn/m ³)	2.45
Absorción (%)	1.36
Peso seco unitario suelto (kg/m ³)	1288
Peso seco compactado (kg/m ³)	1343
Contenido de humedad (%)	0.98

Interpretación de resultados del espeleotema:

- La morfología de los áridos del espeleotema son irregulares, con grados rugosos, y rangos pocos esféricos.
- La granulometría del espeleotema en general da cumplimiento con los rangos y parámetros de la granulometría normada según los tamices, según se indica en

la norma ASTM C136 / NTP 400.012. Respecto al tamaño máximo nominal (TMN) del espeleotema, este resulta de $\frac{3}{4}$ ".

- Su peso específico es de 2.45 tn/m^3 siendo su valor inferior al del agregado grueso natural que es de 2.49 tn/m^3 , por lo que se muestra que es menos pesado este material.
- El porcentaje de absorción del espeleotema es de 1.36, mayor en % de absorción al agregado grueso natural, es decir, su interpretación yace en la necesidad de mayor volumen de agua al emplearlo para elaborar concretos tradicionales.
- Peso seco unitario suelto del espeleotema es de 1288 kg/m^3 y el Peso seco compactado del Espeleotema es de 1343 kg/m^3 , siendo ambos mayores al del agregado natural grueso.
- El porcentaje de contenido de agua o humedad del espeleotema es de 0.98 %, siendo menor al del agregado grueso natural.

4.2. Diseño de mezcla del concreto $f'c=17.5 \text{ MPa}$ y $f'c=21.0 \text{ MPa}$

A. Diseño de mezcla del concreto $f'c=17.5 \text{ MPa}$

Para el diseño de mezcla de un concreto $f'c=17.5 \text{ MPa}$ (Patrón), se efectuó inicialmente el estudio mediante ensayos de las características físicas de los agregados en el **anexo 2**. Posteriormente, se ha efectuado el diseño de mezcla mediante el método del ACI, para mayor detalle se presenta el **anexo 8**, de aquellos datos obtenidos, se presentan a continuación el siguiente resumen:

Tabla 40*Cantidad de materiales para diseño patrón ($f'c = 17.5$ MPa)*

VALORES DE DISEÑO			
Resistencia a la Compresión (MPa)	: 17.5	Peso específico del cemento (Tipo I)	: 3.11
Tamaño Máximo nominal (Pulg)	: 1"	Revenimiento (pulg)	: 3"-4"
Agua de mezclado (Lts)	: 193	Aire atrapado (%)	: 1.5
Relación a/c	: 0.6	Volumen de agregado grueso	: 0.65
CANTIDAD DE MATERIALES POR M ³ DE CONCRETO			
MATERIAL	KG/M3		
Cemento:	322	7.58 Bls/m ³	
Arena:	1088		
Piedra:	672		
Agua:	157.32		
PROPORCIONES			
MATERIA	PESO	VOLUMEN	
Cemento	1	1	
Arena	3.38	4.04	
Piedra	2.09	3.66	
Agua	0.49	20.76	

En relación a los resultados obtenidos en general del diseño de mezcla para el concreto patrón de $f'c=17.5$ MPa, con el agregado grueso al 100%, resultó en cuanto a volumen de proporciones: cemento, arena, piedra y agua; 1, 4.04, 3.66 y 20.76 respectivamente.

Diseño de mezcla del concreto $f'c=17.5$ MPa (50% AGN – 50% ESP.)

Para el diseño de mezcla de un concreto $f'c=17.5$ MPa (50% agregado grueso y 50% espeleotema), se efectuó inicialmente el estudio mediante ensayos de las características físicas de los agregados en el **anexo 3**. Posteriormente, se ha hecho el diseño de mezcla mediante el método del ACI, para mayor detalle se presenta el **anexo 9**, de aquellos datos obtenidos, se presentan a continuación el siguiente resumen:

Tabla 41*Cantidad de materiales para diseño 50% AGN – 50% ESP ($f'c = 17.5 \text{ MPa}$)*

VALORES DE DISEÑO			
Resistencia a la Compresión (MPa)	: 17.5	Peso específico del cemento (Tipo I)	: 3.11
Tamaño Máximo nominal (Pulg)	: 1"	Revenimiento (pulg)	: 3"-4"
Agua de mezclado (Lts)	: 193	Aire atrapado (%)	: 1.5
Relación a/c	: 0.6	Volumen de agregado grueso	: 0.65
CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 DE CONCRETO			
MATERIAL	KG/M3		
Cemento:	322	7.58 Bls/m ³	
Arena:	1088		
Piedra (50% AGN – 50 % ESP.):	672		
Agua:	157.32		
PROPORCIONES			
MATERIA	PESO	VOLUMEN	
Cemento	1	1	
Arena	3.38	4.04	
Piedra	2.09	3.66	
Agua	0.49	20.76	

En relación a los resultados obtenidos en general del diseño de mezcla para el concreto patrón de $f'c=17.5 \text{ MPa}$, con el agregado grueso al 50% y espeleotema al 50%, resultó en cuanto a volumen de proporciones: cemento, arena, piedra y agua; 1, 4.04, 3.66 y 20.76 respectivamente.

Diseño de mezcla del concreto $f'c=17.5 \text{ MPa}$ (100% ESP.)

Para el diseño de mezcla de un concreto $f'c=17.5 \text{ MPa}$ (100% espeleotema), se realizó inicialmente el estudio mediante ensayos de las características paramétricas físicas de los agregados en el **anexo 4**. Posteriormente, se ha efectuado diseño de mezcla mediante el método del ACI, para mayor detalle se presenta el **anexo 10**, de aquellos datos obtenidos, se presentan a continuación el siguiente resumen:

Tabla 42*Cantidad de materiales para diseño 100% espeleotema ($f'c = 17.5$ MPa)*

VALORES DE DISEÑO			
Resistencia a la Compresión (MPa)	: 17.5	Peso específico del cemento (Tipo I)	: 3.11
Tamaño Máximo nominal (Pulg)	: 3/4"	Revenimiento (pulg)	: 3"-4"
Agua de mezclado (Lts)	: 205	Aire atrapado (%)	: 2
Relación a/c	: 0.62	Volumen de agregado grueso	: 0.6
CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 DE CONCRETO			
MATERIAL	KG/M3		
Cemento:	331	7.58 Bls/m ³	
Arena:	869		
Espeleotema:	814		
Agua:	186.1		
PROPORCIONES			
MATERIA	PESO	VOLUMEN	
Cemento	1	1	
Arena	2.63	3.14	
Piedra	2.49	2.84	
Agua	0.56	23.89	

En relación a los resultados obtenidos en general del diseño de mezcla para el concreto patrón de $f'c=17.5$ MPa, con el espeleotema como agregado al 100%, resultó en cuanto a volumen de proporciones: cemento, arena, piedra y agua; 1, 3.14, 2.84 y 23.89 respectivamente.

B. Diseño de mezcla del concreto $f'c=21.0$ MPa

Para el diseño de mezcla de un concreto $f'c=21.0$ MPa (100% agregado grueso), se realizó inicialmente el estudio mediante ensayos de las características paramétricas físicas de los agregados en el **anexo 5**. Posteriormente, se ha realizado diseño de mezcla mediante el método del ACI, para mayor detalle se presenta el **anexo 11**, de aquellos datos obtenidos, se presentan a continuación el siguiente resumen:

Tabla 43*Cantidad de materiales para diseño patrón ($f'c = 21.0$ MPa)*

VALORES DE DISEÑO			
Resistencia a la Compresión (MPa)	: 21	Peso específico del cemento (Tipo I)	: 3.11
Tamaño Máximo nominal (Pulg)	: 1"	Revenimiento (pulg)	: 3"-4"
Aguax de mezclado (Lts)	: 193	Aire atrapado (%)	: 1.5
Relación a/c	: 0.51	Volumen de agregado grueso	: 0.65
CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 DE CC NCRETO _x			
MATERIAL	KG/M3		
Cemento:	378	8.89 Bls/m ³	
Arena:	1042		
Piedra:	672		
Agua:	158.48		
PROPORCIONES			
MATERIA	PESO	VOLUMEN	
Cemento	1	1	
Arena	2.76	3.29	
Piedra	1.78	3.11	
Agua	0.42	17.82	

En relación a los resultados obtenidos en general del diseño de mezcla para el concreto patrón de $f'c=21.0$ MPa, con el agregado grueso al 100%, resultó en cuanto a volumen de proporciones: cemento, arena, piedra y agua; 1, 3.29, 3.11 y 17.82 respectivamente.

Diseño de mezcla del concreto $f'c=21.0$ MPa (50% Agregado – 50% espeleotema)

Para el diseño de mezcla de un concreto $f'c=21.0$ MPa (50% agregado grueso y 50% espeleotema), se realizó inicialmente el estudio mediante ensayos de las características paramétricas de los agregados en el **anexo 6**. Posteriormente, se ha efectuado el diseño de mezcla mediante el método del ACI, para mayor detalle se presenta el **anexo 12**, de aquellos datos obtenidos, se presentan a continuación el siguiente resumen:

Tabla 44

Cantidad de materiales para diseño 50% agregado – 50% espeleotema ($f'c = 21.0 \text{ MPa}$)

VALORES DE DISEÑO			
Resistencia a la Compresión (MPa)	: 21	Peso específico del cemento (Tipo I)	: 3.11
Tamaño máximo nominal (Pulg)	: 1"	Revenimiento (pulg)	: 3"-4"
Agua de mezclado (Lts)	: 193	Aire atrapado (%)	: 1.5
Relación a/c	: 0.51	Volumen de agregado grueso	: 0.65
CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 DE CONCRETO			
MATERIAL		KG/M3	
Cemento:		378	8.89 Bls/m ³
Arena:		1042	
Piedra (50% AGN – 50 % ESP.):		672	
Agua:		158.48	
PROPORCIONES			
MATERIA	PESO	VOLUMEN	
Cemento	1	1	
Arena	2.76	3.29	
Piedra	1.78	3.11	
Agua	0.42	17.82	

En relación a los resultados obtenidos en general del diseño de mezcla para el concreto patrón de $f'c=21.0 \text{ MPa}$, con el agregado grueso al 50% y espeleotema al 50%, resultó en cuanto a volumen de proporciones: cemento, arena, piedra y agua; 1, 3.29, 3.11 y 17.82 respectivamente.

Diseño de mezcla del concreto $f'c=21.0 \text{ MPa}$ (100% espeleotema)

Para el diseño de mezcla de un concreto $f'c=21.0 \text{ MPa}$ (100%espeleotema), se realizó inicialmente el estudio mediante ensayos de las características paramétricas físicas de los agregados en el **anexo 7**. Posteriormente, se ha efectuado el diseño de mezcla mediante el método del ACI, para mayor detalle se presenta el **anexo 13**, de aquellos datos hallados, se presentan a continuación el siguiente resumen:

Tabla 45*Cantidad de materiales para diseño 100% espeleotema ($f'c = 21.0$ MPa)*

VALORES DE DISEÑO			
Resistencia a la Compresión (MPa)	: 21	Peso específico del cemento (Tipo I)	: 3.11
Tamaño máximo nominal (Pulg)	: 3/4"	Revenimiento (pulg)	: 3"-4"
Agua de mezclado (Lts)	: 205	Aire atrapado (%)	: 2
Relación a/c	: 0.53	Volumen de agregado grueso	: 0.6
CANTIDAD DE MATERIALES POR M3 DE CONCRETO			
MATERIAL	KG/M3		
Cemento:	387	9.11 Bls/m ³	
Arena:	823		
Espeleotema:	814		
Agua:	187.26		
PROPORCIONES			
MATERIA	PESO	VOLUMEN	
Cemento	1	1	
Arena	2.13	2.54	
Piedra	2.1	2.43	
Agua	0.48	20.57	

En relación a los resultados obtenidos en general del diseño de mezcla para el concreto patrón de $f'c=21.0$ MPa, con el espeleotema como agregado al 100%, resultó en cuanto a volumen de proporciones: cemento, arena, piedra y agua; 1, 3.14, 2.84 y 23.89 respectivamente.

4.3. Resistencia a la compresión y flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa

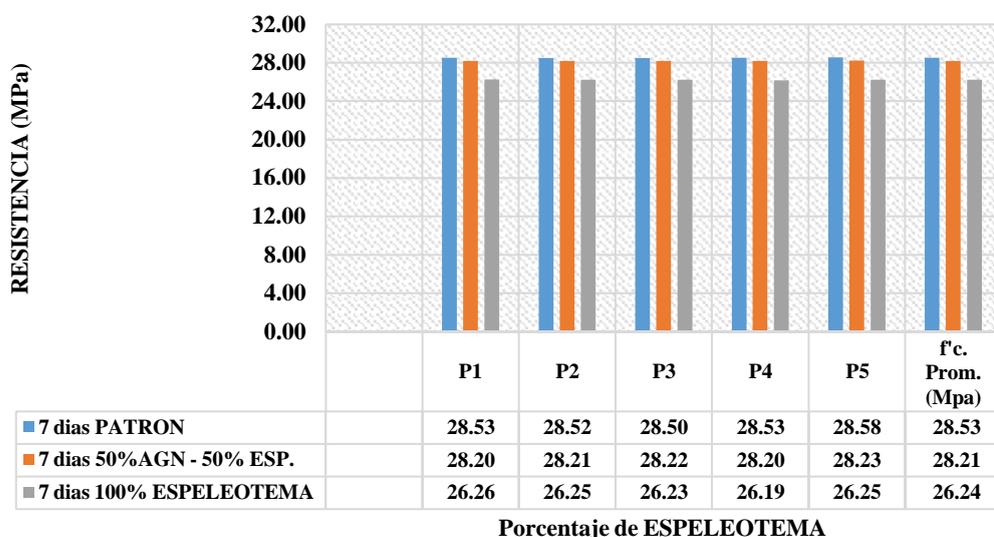
4.3.1. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto $f'c=17.5$ MPa

Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días

Respecto a los resultados, a la edad de 7 días del concreto, se detalla los datos obtenidos en el **anexo 14**. En la siguiente tabla y gráfico se detallan los resúmenes de estos:

Figura 22

Resistencia a la compresión del concreto $f'c=17.5$ MPa a edad 7 Días



Interpretación de resultados:

El análisis de los datos expuestos para una edad de curado de 7 días se muestran en la Figura 22 donde se ha podido verificar que la resistencia a la compresión alcanza los 28.53 MPa con concreto Patrón.; 28.21 MPa con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema viendo que su resistencia a compresión se minimiza en un 0.32% respecto al diseño patrón.; y 26.24 MPa con porcentaje del 100% de espeleotema viendo que su resistencia a compresión se minimiza en un 2.29% en relación al diseño patrón.

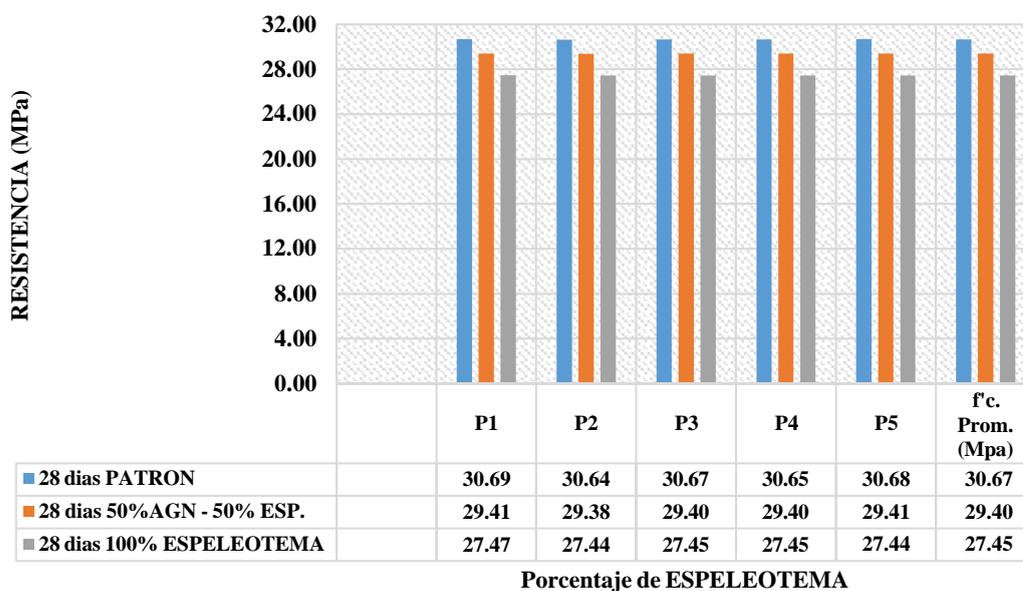
Entonces, se puede visualizar que la resistencia de los especímenes de concretos con la incorporación del espeleotema como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso está por encima del valor diseño (17.5 MPa).

Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días

Respecto a los resultados, a la edad de 28 días del concreto, se detalla los datos obtenidos en el **anexo 15**. En la siguiente tabla y gráfico se detallan los resúmenes de estos:

Figura 23

Resistencia a la compresión del concreto $f'c=17.5$ MPa a edad 28 días



Interpretación de resultados:

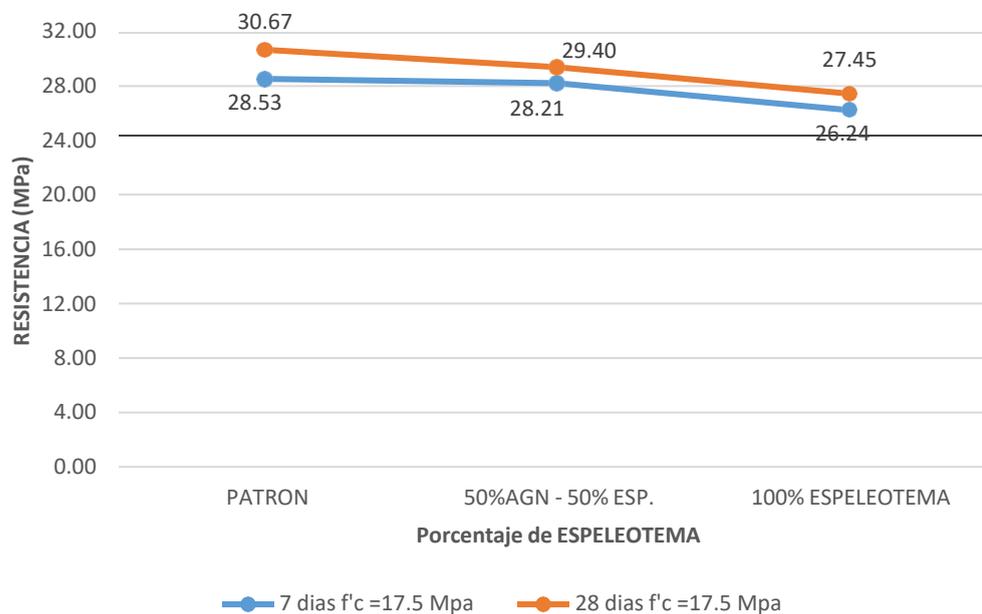
El análisis de los datos expuestos para una edad de curado de 28 días se muestran en el Figura 23 donde se ha podido verificar la resistencia a la compresión alcanzó los 30.67 MPa con concreto Patrón.; 29.40 MPa con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema viendo que su resistencia a la compresión se minimiza en un 1.27% en relación al diseño patrón.; y 27.45 MPa con porcentaje del 100% de espeleotema viendo que su resistencia a compresión se minimiza en un 3.22% en relación al diseño patrón.

Entonces, se puede visualizar que la resistencia de los especímenes de concretos con la incorporación del espeleotema como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso está por encima del valor diseño (17.5 MPa).

Resistencia a la compresión $f'c=17.5$ MPa vs edades.

Figura 24

Resistencia a la compresión vs edades, $F'c=17.5$ MPa



Interpretación de resultados:

1. Respecto a los datos generados para un edad de curación de 7 días se muestran en el Figura 24, donde se ha podido verificar que la resistencia de compresión con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de Espeleotema presentan una disminución correspondientemente al concreto patrón, también se observa que la resistencia de compresión con el 100% de espeleotema su resistencia recae quedando muy por debajo del concreto Patrón y del concreto con 50% AGN y 50% espeleotema, también se puede verificar que la resistencia de concreto con porcentajes de espeleotema superan la resistencia de diseño.
2. Por otro lado, respecto a los datos generados para un edad de curación de 28 días se muestran en la Figura 24, donde se puede visualizar que la resistencia de compresión con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de

Espeleotema presentan una disminución en relación al concreto patrón, también se puede verificar que la resistencia de compresión con el 100% de espeleotema su resistencia recae quedando muy por debajo del concreto patrón y del concreto con 50% AGN y 50% espeleotema, también se ha podido verificar que la resistencia de concreto con porcentajes de espeleotema superan la resistencia de diseño.

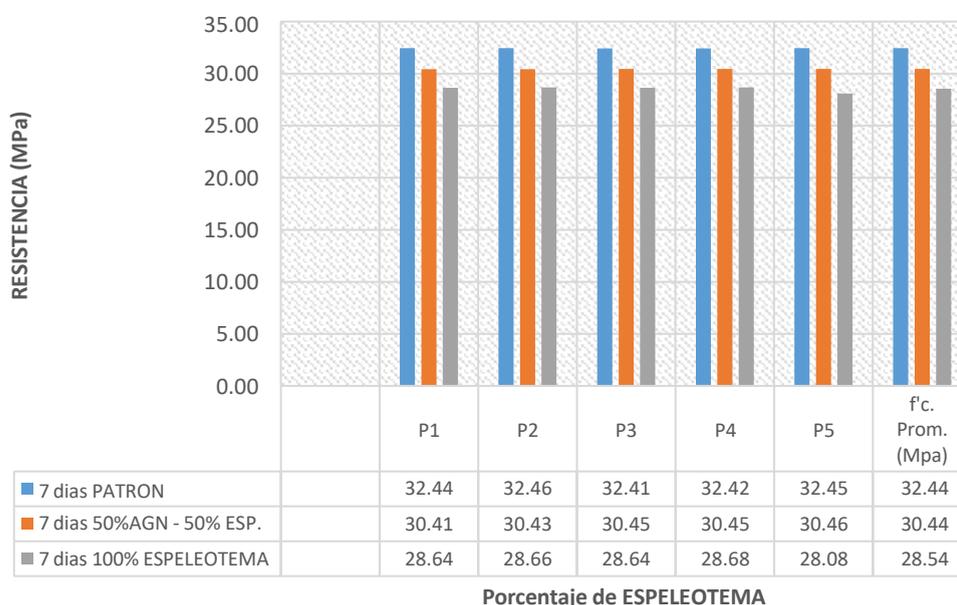
4.3.2. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto $f'c=21.0$ MPa

Ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días

Respecto a los resultados, a la edad de 7 días del concreto, se detalla los datos obtenidos en el **anexo 16**. En la siguiente tabla y gráfico se detallan los resúmenes de estos:

Figura 25

Resistencia a la compresión del concreto $f'c=21.0$ MPa a edad 7 días



Interpretación de resultados:

Respecto al análisis de los datos expuestos para un edad de curado de 7 días se muestran en la Figura 25 donde se ha podido verificar que la resistencia de compresión alcanza los 32.44 MPa con concreto patrón.; 30.44 MPa con porcentaje del 50% del

agregado grueso natural y el 50% de espeleotema viendo que su resistencia a compresión se minimiza en un 2.00% en relación al diseño patrón.; y 28.54 MPa con porcentaje del 100% de espeleotema viendo que su resistencia a compresión se minimiza en un 3.90% en relación al diseño patrón.

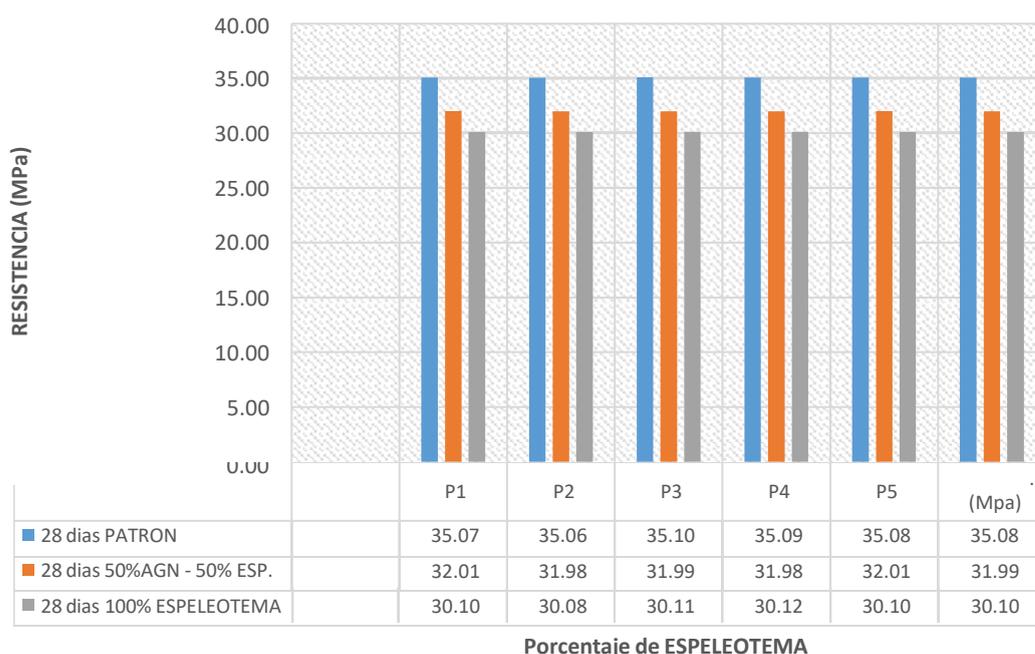
Entonces, se puede visualizar que la resistencia de los especímenes de concreto con la incorporación del Espeleotema como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso está por encima del valor diseño (21.0 MPa).

Ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días

Respecto a los resultados, a la edad de 28 días del concreto, se detalla los datos obtenidos en el **anexo 17**. En la siguiente tabla y gráfico se detallan los resúmenes de estos:

Figura 26

Resistencia a la compresión del concreto $f'c=21.0$ MPa a edad 28 días



Interpretación de resultados:

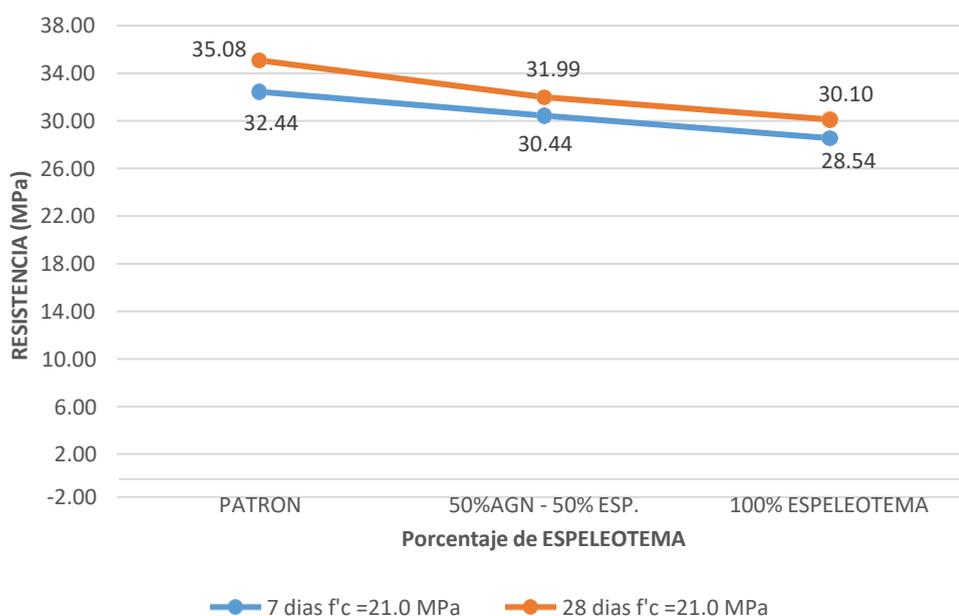
Respecto al análisis de interpretación de los datos expuestos para un edad de curado de 28 días, se muestran en la Figura 26 donde se ha podido visualizar que la resistencia de compresión alcanza los 35.08 MPa con concreto Patrón.; 31.99 MPa con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema viendo que su resistencia a compresión se reduce en un 3.09% en relación al diseño patrón.; y 30.10 MPa con porcentaje del 100% de espeleotema viendo que su resistencia a compresión se minimiza en un 4.98% en relación al diseño patrón.

Para tal, se puede visualizar que la resistencia de los especímenes de concreto con la incorporación del Espeleotema como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso está por encima del valor diseño (21.0 MPa).

Resistencia a la compresión $f'c=21.0$ MPa vs edades.

Figura 27

Resistencia a la compresión vs edades, $f'c=21.0$ MPa



Interpretación de resultados:

1. Los resultados obtenidos para un edad de 7 días se expone en la Figura 27 donde se puede visualizar que la resistencia de compresión con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema presentan una disminución con respecto al concreto patrón, también se visualiza que la resistencia de compresión con el 100% de espeleotema su resistencia recae quedando muy por debajo del concreto patrón y del concreto con 50% AGN y 50% espeleotema, también se pudo verificar que la resistencia de concreto con porcentajes de espeleotema superan la resistencia de diseño.
2. Por otro lado, según los datos obtenidos para un edad de curación de 28 días se exponen en la Figura 27, donde se puede visualizar que la resistencia de compresión con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema presentan una disminución en relación al concreto patrón, también se pude verificar que la resistencia de compresión con el 100% de espeleotema su resistencia recae quedando muy por debajo del concreto patrón y del concreto con 50% AGN y 50% espeleotema, también se identifica que la resistencia de concreto con porcentajes de Espeleotema superan la resistencia de diseño.

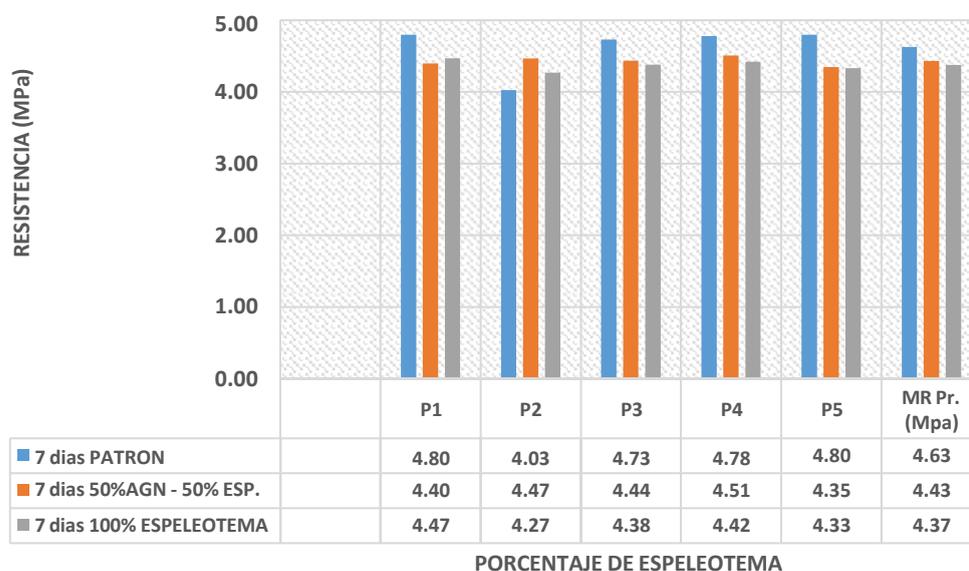
4.3.3. Ensayo de resistencia a la flexión del concreto $f'_c=17.5$ MPa

Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días

Respecto a los resultados, a la edad de 7 días del concreto, se detalla los datos obtenidos en el **anexo 18**. En la siguiente tabla y gráfico se detallan los resúmenes de estos:

Figura 28

Resistencia a la flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa a edad 7 días



Interpretación de resultados:

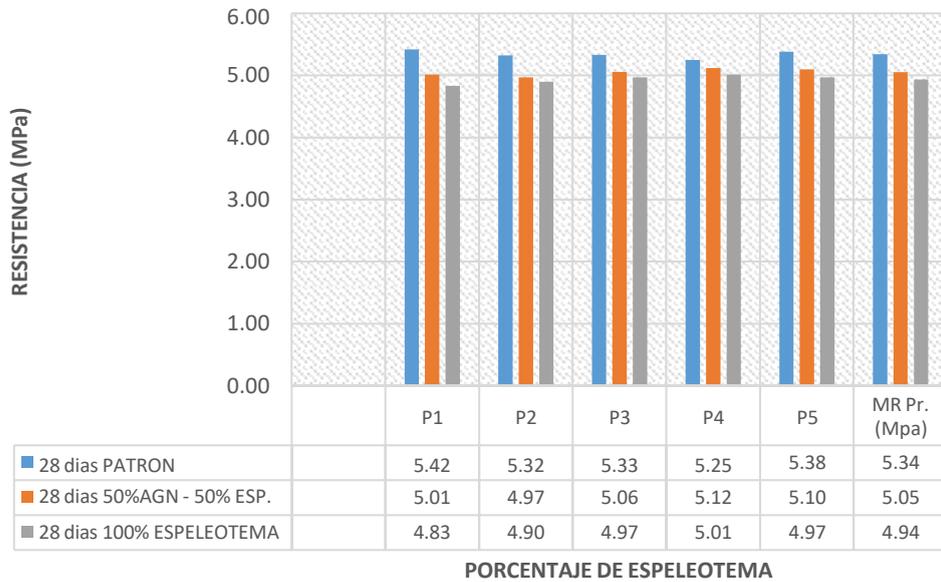
Respecto al análisis para la interpretación de datos expuestos para una edad de curado de 7 días se detalla en la Figura 28 donde se puede visualizar que la resistencia a la flexión alcanzada fue de 4.63 MPa con concreto patrón.; 4.43 MPa con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema viendo que su resistencia a la flexión se minimiza en un 0.20% en relación al diseño patrón.; y 4.37 MPa con porcentaje del 100% de espeleotema viendo que su resistencia a la flexión se minimiza en un 0.26% correspondientemente al diseño patrón.

Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días

Respecto a los resultados, a la edad de 28 días del concreto, se detalla los datos obtenidos en el **anexo 19**. En la siguiente tabla y gráfico se detallan los resúmenes de estos:

Figura 29

Resistencia a la flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa a edad 28 días



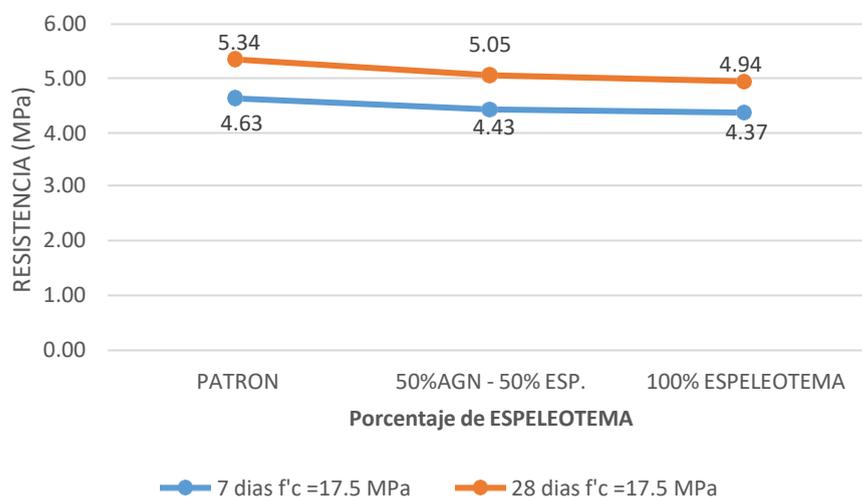
Interpretación de resultados:

Respecto a los datos generados y obtenidos para un edad de curado de 28 días se muestran en la Figura 29 donde se puede identificar que la resistencia a la flexión alcanza un 5.34 MPa con concreto patrón.; 5.05 MPa con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema viendo que su resistencia a la flexión se minimiza en un 0.29% correspondientemente al diseño patrón.; y 4.94 MPa con porcentaje del 100% de espeleotema viendo que su resistencia a la flexión se minimiza en un 0.40% en relación al diseño patrón.

Resistencia a la flexión $f'c=17.5$ MPa vs edades.

Figura 30

Resistencia a la flexión vs edades, $f'c=17.5$ MPa



Interpretación de resultados:

Los resultados obtenidos para una edad de 7 y 28 días se exponen en la Figura 30, donde se ha podido identificar que la resistencia a la flexión con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema presentan una disminución en relación al concreto patrón, también se ha logrado identificar que la resistencia a la flexión con el 100% de espeleotema su resistencia recae quedando muy por debajo del concreto patrón y del concreto con 50% AGN y 50% espeleotema.

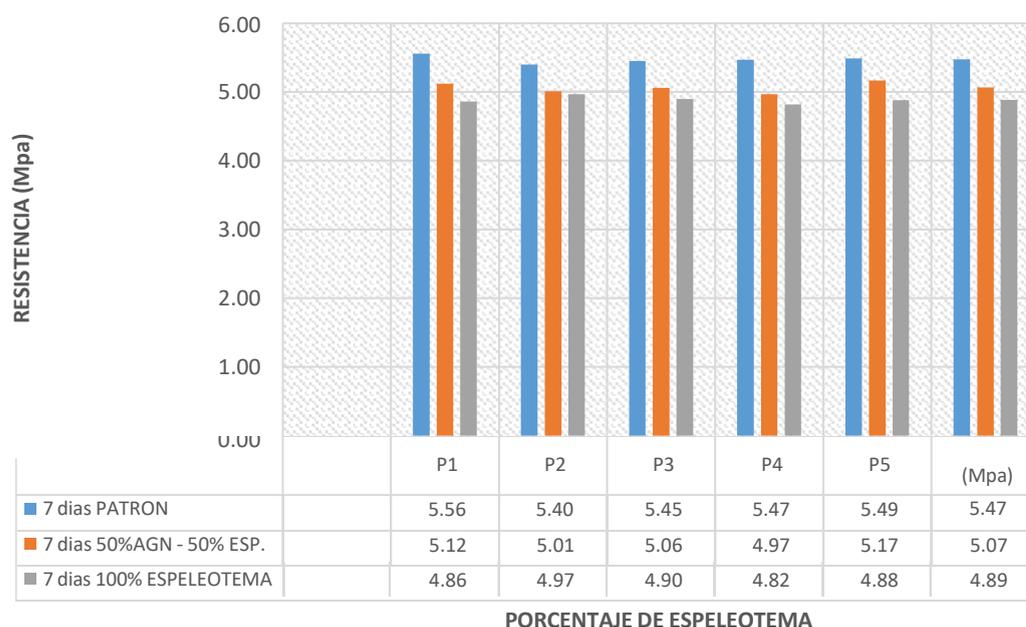
4.3.4. Ensayo de resistencia a la flexión del concreto $f'c=21.0$ MPa

Ensayo de resistencia a la flexión a los 7 días

Respecto a los resultados, a la edad de 7 días del concreto, se detalla los datos obtenidos en el **anexo 20**. En la siguiente tabla y gráfico se detallan los resúmenes de estos:

Figura 31

Resistencia a la flexión del concreto $f'c=21.0$ MPa a edad 7 días



Interpretación de resultados:

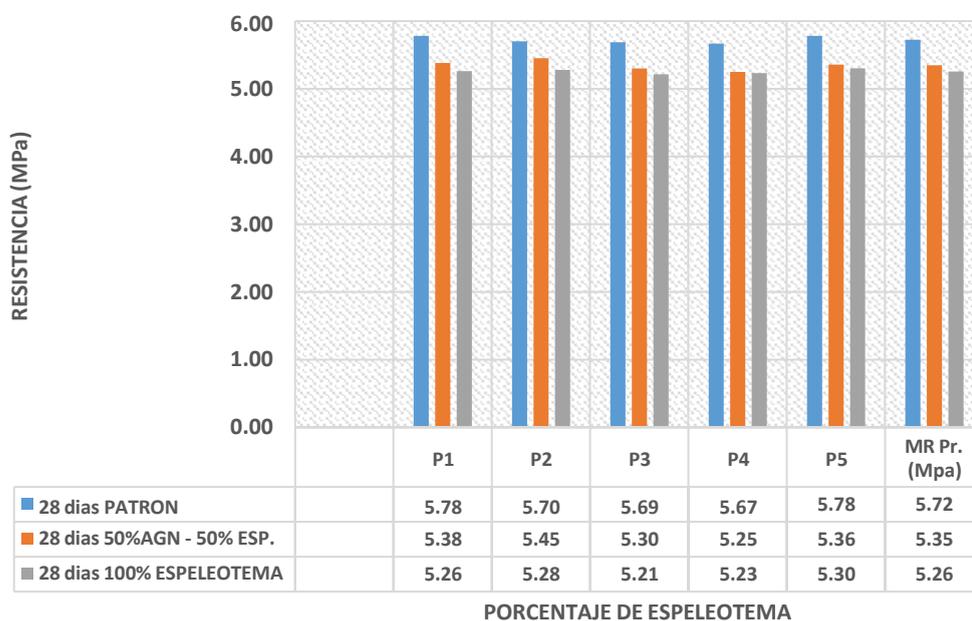
Respecto al análisis de los datos expuestos para una edad de curado de 7 días se muestran en la Figura 31, donde se ha logrado observar que la resistencia a la flexión alcanzada fue de 5.47 MPa con concreto patrón.; 5.07 MPa con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema viendo que su resistencia a la flexión se minimiza en un 0.40% en relación diseño patrón.; y 4.89 MPa con porcentaje del 100% de espeleotema viendo que su resistencia a la flexión se minimiza en un 0.58% correspondientemente al diseño patrón.

Ensayo de resistencia a la flexión a los 28 días

Respecto a los resultados, a la edad de 28 días del concreto, se detalla los datos obtenidos en el **anexo 21**. En la siguiente tabla y gráfico se detallan los resúmenes de estos:

Figura 32

Resistencia a la flexión del concreto $f'c=21.0$ MPa a edad 28 días



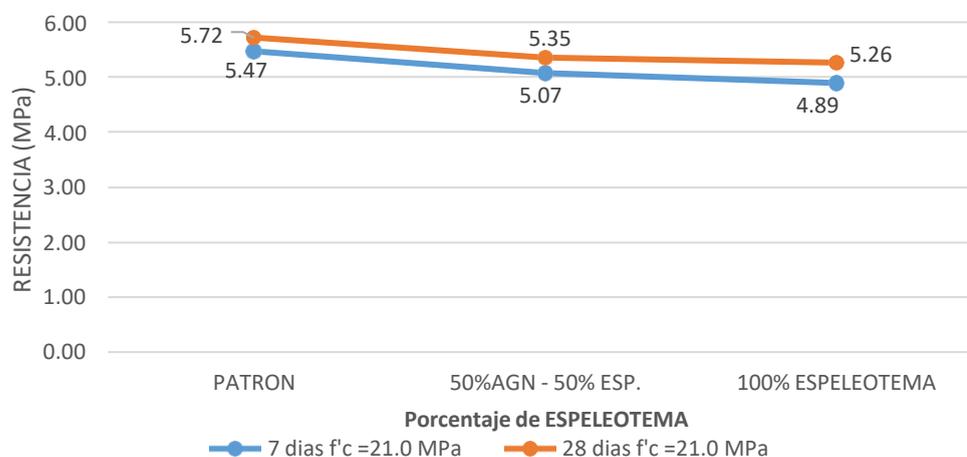
Interpretación de resultados:

Respecto al análisis para interpretación de datos expuestos del concreto a una edad de curado de 28 días se muestran en la Figura 32 donde se puede visualizar que la resistencia a la flexión alcanzada fue de 5.72 MPa con concreto Patrón.; 5.35 MPa con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema viendo que su resistencia a la flexión se minimiza en un 0.37% correspondientemente al diseño patrón.; y 5.26 MPa con porcentaje del 100% de espeleotema viendo que su resistencia a la flexión se minimiza en un 0.46% correspondientemente al diseño patrón.

Resistencia a la flexión $f'_c=21.0$ MPa vs edades.

Figura 33

Resistencia a la flexión vs edades, $f'_c=21.0$ MPa



Interpretación de resultados:

Los resultados obtenidos para una edad de 7 y 28 días se exponen en la Figura 33, donde se ha podido hallar que la resistencia a la flexión con porcentaje del 50% del agregado grueso natural y el 50% de espeleotema presentan una disminución en relación al concreto patrón, donde también se visualiza que la resistencia a la Flexión con el 100% de espeleotema su resistencia recae quedando muy por debajo del concreto Patrón y del concreto con 50% agregado y 50% espeleotema.

4.4. Contraste de hipótesis

En la etapa de plan de tesis, se planteó la siguiente hipótesis a ser contratada con los resultados obtenidos:

Las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa se mantienen iguales con la incorporación del espeleotema, como agregado grueso en la localidad de Churin.

Para realizar una correcta contrastación de hipótesis, se empleó el método estadístico Anova, aquel que nos permite conocer la existencia de diferencia significativa entre grupos de resultados.

Entonces, para demostrar si nuestra hipótesis nula es aceptada o rechazada, estas se plantearon de la siguiente manera:

H_0 : Las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa se mantienen iguales con la incorporación del espeleotema, como agregado grueso en la localidad de Churin.

H_1 : Las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa muestran variabilidad en los resultados con la incorporación del espeleotema, como agregado grueso en la localidad de Churin.

Para ejecutar los cálculos mediante el método Anova, se tiene la siguiente condición:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \text{ (Las medias de los grupos son iguales)}$$

$$H_1: \text{No todas las } \mu_j \text{ son iguales}$$

Para tal, si se cumple que:

$$F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$$

Donde:

F_0 = valor crítico calculado

$F_{\alpha,k-1,N-k}$ = valor crítico teórico

Si se cumple con la condición, entonces se procede a rechazar la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1 , resumiendo que existen diferencias significativas entre los grupos.

1) Para resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de curación de diseño $f'c=17.5$ MPa.

Tabla 46

Conformación de grupos de resultados de $f'c$ según el porcentaje de espeleotema, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.

Muestra	F'c adicionando Espeleotema en reemplazo del agregado		
	0.00%	50.00%	100.00%
1	312.90	299.90	280.10
2	312.40	299.60	279.80
3	312.70	299.80	279.90
4	312.50	299.80	279.90
5	312.80	299.90	279.80

Tabla 47

Cálculo de varianza por cada grupo conformado, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.

Grupos	Cantidad de muestras	Suma de resultados	Promedio de resultados	Varianza
0.00% Espeleotema	5	1563.3	312.66	0.043
50.00% Espeleotema	5	1499	299.8	0.015
100.00% Espeleotema	5	1399.5	279.9	0.015

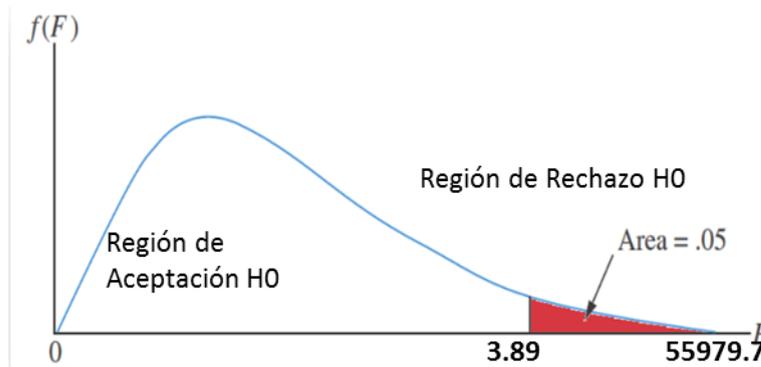
Tabla 48

Cálculo de valor crítico y teórico para el análisis de varianza de grupos conformados, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	2724.35	2.00	1362.17	55979.70	1.51511E-24	3.89
Dentro de los grupos	0.29	12.00	0.02			
Total	2724.64	14.00				

Figura 34

Región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, I.



Contrastación:

Habiendo realizado los cálculos del valor crítico teórico y calculado, se cumple la condición de $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$, es decir, $55979.7 > 3.89$, entonces se rechaza la hipótesis nula; en efecto, existe diferencia significativa entre los resultados de resistencia a la compresión ($f'c$) obtenidos al agregar el 50% y 100% de espleotema en reemplazo del agregado, para un concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.

- 2) **Para resultados de resistencia a la compresión a los 28 días de curación de diseño $f'c=21.0$ MPa.**

Tabla 49

Conformación de grupos de resultados de $f'c$ según el porcentaje de espleotema, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.

Muestra	F'c adicionando Espeleotema en reemplazo del agregado		
	0.00%	50.00%	100.00%
1	357.60	326.40	306.90
2	357.50	326.10	306.70
3	357.90	326.20	307.00
4	357.80	326.10	307.10
5	357.70	326.40	306.90

Tabla 50

Cálculo de varianza por cada grupo conformado, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.

Grupos	Cantidad de muestras	Suma de resultados	Promedio de resultados	Varianza
0.00% Espeleotema	5	1788.5	357.7	0.025
50.00% Espeleotema	5	1631.2	326.24	0.023
100.00% Espeleotema	5	1534.6	306.92	0.022

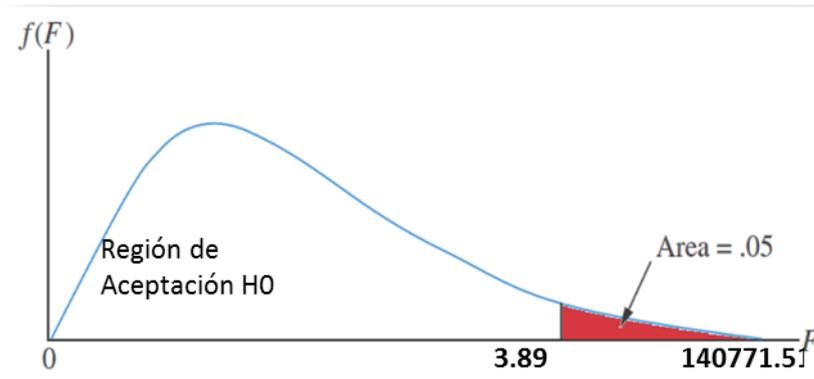
Tabla 51

Cálculo de valor crítico y teórico para el análisis de varianza de grupos conformados, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	6569.34	2.00	3284.67	140771.51	5.99388E-27	3.89
Dentro de los grupos	0.28	12.00	0.02			
Total	6569.62	14.00				

Figura 35

Región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, II.



Contrastación:

Habiendo realizado los cálculos del valor crítico teórico y calculado, se cumple la condición de $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$, es decir, $140771.51 > 3.89$, entonces se rechaza la hipótesis nula; en efecto, existe diferencia significativa entre los resultados de resistencia a la compresión ($f'c$) obtenidos al agregar el 50% y 100% de espeleotema en reemplazo del agregado, para un concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.

3) Para resultados de resistencia a la flexión a los 28 días de curación de diseño $f'c=17.5$ MPa.

Tabla 52

Conformación de grupos de resultados de Mr' según el porcentaje de espeleotema, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.

Muestra	F'c adicionando Espeleotema en reemplazo del agregado		
	0.00%	50.00%	100.00%
1	55.30	51.10	49.30
2	54.20	50.70	50.00
3	54.40	51.60	50.70
4	53.60	52.20	51.10
5	54.90	52.00	50.70

Tabla 53

Cálculo de varianza por cada grupo conformado, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.

Grupos	Cantidad de muestras	Suma de resultados	Promedio de resultados	Varianza
0.00% Espeleotema	5	272.40	54.48	0.43
50.00% Espeleotema	5	257.60	51.52	0.39
100.00% Espeleotema	5	251.80	50.36	0.51

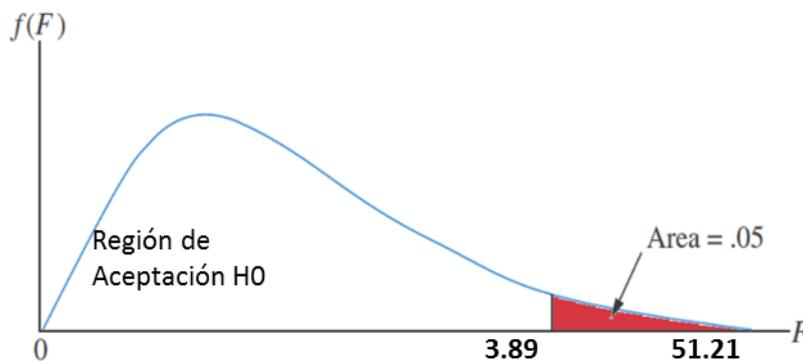
Tabla 54

Cálculo de valor crítico y teórico para el análisis de varianza de grupos conformados, concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	45.14	2.00	22.57	51.21	1.33022E-06	3.89
Dentro de los grupos	5.29	12.00	0.44			
Total	50.42	14.00				

Figura 36

Región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, III.



Contrastación:

Habiendo realizado los cálculos del valor crítico teórico y calculado, se cumple la condición de $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$, es decir, $51.21 > 3.89$, entonces se rechaza la hipótesis nula; en efecto, existe diferencia significativa entre los resultados de resistencia a la flexión ($f'c$) obtenidos al agregar el 50% y 100% de espeleotema en reemplazo del agregado, para un concreto de diseño $f'c=17.5$ MPa.

4) Para resultados de resistencia a la flexión a los 28 días de curación de diseño

$f'c=21.0$ MPa.

Tabla 55

Conformación de grupos de resultados de M_r según el porcentaje de espeleotema, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.

Muestra	F'c adicionando Espeleotema en reemplazo del agregado		
	0.00%	50.00%	100.00%
1	59.00	54.90	53.60
2	58.20	55.60	53.80
3	58.00	54.00	53.10
4	57.80	53.60	53.30
5	58.90	54.70	54.00

Tabla 56

Cálculo de varianza por cada grupo conformado, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.

Grupos	Cantidad de muestras	Suma de resultados	Promedio de resultados	Varianza
0.00% Espeleotema	5	291.9	58.38	0.292
50.00% Espeleotema	5	272.8	54.56	0.613
100.00% Espeleotema	5	267.8	53.56	0.133

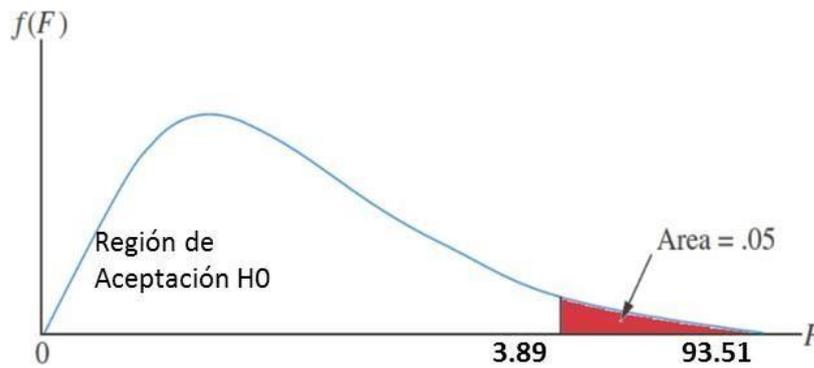
Tabla 57

Cálculo de valor crítico y teórico para el análisis de varianza de grupos conformados, concreto de diseño $f'c=21.0$ MPa.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	64.71	2.00	32.35	93.51	4.80554E-08	3.89
Dentro de los grupos	4.15	12.00	0.35			
Total	68.86	14.00				

Figura 37

Región de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, IV.



Contrastación:

Habiendo realizado los cálculos del valor crítico teórico y calculado, se cumple la condición de $F_0 > F_{\alpha,k-1,N-k}$, es decir, $93.51 > 3.89$, entonces se rechaza la hipótesis nula; en efecto, existe diferencia significativa entre los resultados de resistencia a la flexión (f^c) obtenidos al agregar el 50% y 100% de espeleotema en reemplazo del agregado, para un concreto de diseño $f^c=21.0$ MPa.

Finalmente, la contrastación de la hipótesis se resume en la existencia de diferencia significativa entre resultados tanto de resistencia a la compresión como flexión en ambos diseños de concreto $f^c=17.5$ y 21.0 MPa. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, donde se indica la variabilidad de resultados obtenidos tanto a la compresión como a la flexión de este tipo de diseño de concreto.

Conclusiones

- ✓ Respecto a las propiedades físico mecánicas del espeleotema, se puede mencionar que los parámetros resultantes respecto a los ensayos empleados para conocer sus características cuantitativas, cumplen con la norma técnica peruana; es decir, se obtuvieron parámetros favorables, los cuales se encuentran en los rangos que la normativa exige; con lo cual corresponde eficientemente su uso en el diseño de mezcla.
- ✓ Se establecieron seis diseños de mezcla, donde tres para un concreto $f'c=17.5$ MPa y tres para un concreto $f'c=21.0$ MPa, con porcentajes de: 100% agregado (patrón), 50% agregado y con 50% espeleotema; y 100% espeleotema; de los cuales se concluyen que los parámetros de dosificaciones halladas se encuentran en los rangos estables promedios y en unión a la primera conclusión, con los resultados se asegura la durabilidad y resistencia del concreto.
- ✓ Se comprueba la resistencia a la compresión del concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación del espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso, donde se halla una disminución en resistencia con respecto al concreto patrón. Sin embargo, superan la resistencia de diseño $f'c$, por lo que otorga una buena resistencia a la compresión; lo cual se demuestra la diferencia significativa en la contrastación de hipótesis, rechazando la hipótesis nula.
- ✓ Se comprueba la resistencia a la flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación del espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del

agregado grueso, presentan una disminución con respecto al concreto patrón. Se hace mención que la resistencia a la flexión del concreto expresado como Modulo de Rotura con porcentajes de espolvoreo otorga una buena resistencia a la flexión; lo cual se demuestra la diferencia significativa en la contrastación de hipótesis, rechazando la hipótesis nula.

Recomendaciones

- ✓ En el campo académico las investigaciones deben realizar mayores estudios sobre el uso del espeleotema y su influencia en costos específicamente, y su reemplazo en diferentes y variables porcentajes en reemplazo del agregado grueso u otro arido.
- ✓ Evaluar los costos de adquisición del espeleotema para identificar posibles usos en la construcción, tomando en cuenta de nuestro proyecto que la resistencia de concreto con porcentajes de espeleotema superan la resistencia de diseño $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa, por lo que otorga una buena resistencia a la compresión y flexión.
- ✓ Evaluar la resistencia del concreto elaborado con espeleotema con reemplazo del 100% del agregado grueso utilizando aditivos que mejore su resistencia.
- ✓ Se recomienda analizar el costo de adquisición de una planta chancadora de agregados en la localidad de Churin, ya que la superficie se encuentra cubiertos por Espeleotema en una mayor cantidad.

Referencia bibliográfica

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
- Álvarez. (2014). *Influencia en la resistencia del concreto al utilizar concreto reciclado como agregado grueso*. Cajamarca: Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte.
- Campos, L. (2015). *Resistencia a compresión axial del concreto utilizando agregado de piedra caliza triturada lavada, 2015*. Trujillo, Perú: Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Carrillo, J., & Rojas, J. (2017). *Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de compresión y flexión de un concreto patrón $f'c=210$ Kg/cm² y un concreto reemplazando en porcentaje del 1, 2, 3 y 4% con Dramix 3D respecto al volumen del agregado fino de la mezcla, elaborando con agreg.* Cusco, Perú: Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco.
- Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto (Teoría y Problemas)*. Lima, Perú: San Marcos, Vol. 2da. edición.
- Choque, R. (2012). *Viabilidad para el uso de la escoria de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote*. Huancavelica: Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica.
- Durand, A. (2017). *Influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales, Trujillo 2017*. Trujillo, Perú: Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte.



- García, B. (2017). *Efecto de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto $f'c=210$ Kg/cm² en la ciudad de Puno, Universidad Nacional del Altiplano*. Cusco, Perú: Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano.
- Gonzales, C. (2012). *Obtención y caracterización de geopolímeros, sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizados para el desarrollo y mejoramiento del concreto*. Cali, Colombia: Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente Cali.
- Huincho, E. (2011). *Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, Microsílice y Nanosilice con cemento Portland Tipo I*. Lima: ING.
- Instituto de Investigación FCN. (2018). *Estalactitas, espelagmitas y otros espeleotemas en la cueva de Nerja*. España: Fundación Cueva de Nerja; Instituto de Investigación.
- Instituto del Cemento y del Concreto. (2000). *Avances en la tecnología del concreto*. IMCYC, revista, octubre.
- Kosmatka, S., & Kerkhoff, B. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Estados Unidos: EB 201 Ingeniería, primera Edición.
- Laura, S. (2006). *Diseño de mezclas de concreto*. Puno, Perú: Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano.
- Medina, G. (2014). *Espeleotema en baños termales de Churín*. Lima: PV Perú.
- NTP 339.047. (2006). *Definiciones y Terminología relativas al hormigón y agregados*. Lima, Perú: Indecopi, NTP.
- NTP 400.037. (2002). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción de agregado grueso*. Lima, Perú: Indecopi, NTP.
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Lima, Perú: 2da Edición, Colección de Ingeniero civil.

- Quiroz, S. (2006). *Resistencias a la compresión promedio del concreto*. Lima, Perú: ING.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima, Perú: Ediciones ACI.
- SENCICO. (2016). *Manual de preparación, colocación y cuidados del concreto*. Lima, Perú: CARTOLAN EDITORES SRL.
- Terreros, L. (2016). *Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo*. Colombia: Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Colombia.
- Vela, F. (2018). *Impacto en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto a partir de la sustitución de la piedra por ecogravilla de escoria de acero, Trujillo – 2018*. Trujillo, Perú: Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte.

Anexos

- ANEXO 1: Matriz de Consistencia.
- ANEXO 2: Ensayos de Agregados (PATRON), $f'c=17.5$ MPa.
- ANEXO 3: Ensayos de Agregados (50% AGN – 50% ESP.), $f'c=17.5$ MPa.
- ANEXO 4: Ensayos de Agregados (100% ESPELEOTEMA), $f'c=17.5$ MPa.
- ANEXO 5: Ensayos de Agregados (PATRON), para un concreto $f'c=21.0$ MPa.
- ANEXO 6: Ensayos de Agregados (50% AGN – 50% ESP.), $f'c=21.0$ MPa.
- ANEXO 7: Ensayos de Agregados (100% ESPELEOTEMA), $f'c=21.0$ MPa.
- ANEXO 8: Diseño de Mezclas de Concreto (PATRON), $f'c=17.5$ MPa.
- ANEXO 9: Diseño de Mezclas de Concreto (50% AGN – 50% ESP.), $f'c=17.5$ MPa.
- ANEXO 10: Diseño de Mezclas de Concreto (100% ESPELEOTEMA), $f'c=17.5$ MPa.
- ANEXO 11: Diseño de Mezclas de Concreto (PATRON), $f'c=21.0$ MPa.
- ANEXO 12: Diseño de Mezclas de Concreto (50% AGN – 50% ESP.), $f'c=21.0$ MPa.
- ANEXO 13: Diseño de Mezclas de Concreto (100% ESPELEOTEMA), $f'c=21.0$ MPa.
- ANEXO 14: Ensayo a la Compresión de Concreto de muestras cilíndricas $f'c=17.5$ MPa a 7 días.
- ANEXO 15: Ensayo a la Compresión de Concreto de muestras cilíndricas $f'c=17.5$ MPa a 28 días.
- ANEXO 16: Ensayo a la Compresión de Concreto de muestras cilíndricas $f'c=21.0$ MPa a 7 días.

- ANEXO 17: Ensayo a la Compresión de Concreto de muestras cilíndricas
 $f'c=21.0$ MPa a 28 días.
- ANEXO 18: Ensayo a la Flexión de Concreto en vigas $f'c=17.5$ MPa a 7 días.
- ANEXO 19: Ensayo a la Flexión de Concreto en vigas $f'c=17.5$ MPa a 28 días.
- ANEXO 20: Ensayo a la Flexión de Concreto en vigas $f'c=21.0$ MPa a 7 días.
- ANEXO 21: Ensayo a la Flexión de Concreto en vigas $f'c=21.0$ MPa a 28 días.
- ANEXO 22: Plano de Ubicación – Localización de la Cantera del Espeleotema.



Anexo 1: Matriz de consistencia



Variable	Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Indicadores	Indice	Justificación	Técnica e Instrumentos
Independiente		Objetivo general	Hipotesis general				Técnica de investigación:
		Determinar las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ Mpa y $f'c=21.0$ Mpa con la incorporación de espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso.		porcentaje	%	La investigación propone incorporar espeleotema en la elaboración de concreto reemplazando el agregado grueso, con el objetivo específico de utilizar espeleotema y encontrar usos sostenibles en la localidad de Churín y así la población en su mayoría no se vea afectado al atraso en sus construcciones al tener mucha presencia de espeleotema al nivel de la superficie del suelo y no contar con canteras de agregado grueso cerca de la población.	observación
Espeleotema como agregado grueso	¿Cuáles son las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ Mpa y $f'c=21.0$ Mpa con la incorporación de espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso?	Objetivos específicos	Las propiedades mecánicas del concreto de $f'c=17.5$ Mpa y $f'c=21.0$ Mpa se mantienen iguales con la incorporación del espeleotema, como agregado grueso en la localidad de Churín.				
Dependiente							Instrumentos de investigación
		1. Determinar las propiedades físicas del espeleotema, para su uso como agregado grueso.		Resistencia a la compresión del concreto	Mpa		Formato y fichas de análisis de laboratorio.
Propiedades mecánicas		2. Realizar diseño de mezcla para un concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación del espeleotema.					Informe de reporte de ensayos de laboratorio
		3. Determinar la resistencia a la compresión y flexión del concreto $f'c=17.5$ MPa y $f'c=21.0$ MPa con la incorporación del Espeleotema, como reemplazo del 50% y 100% del agregado grueso.		Resistencia a la flexión del concreto	Mpa		Diseño de mezcla (Comité de diseño 211 ACI)