

Capítulo I Introducción

1.1 El problema.

1.1.1 Planteamiento.

No se conoce la resistencia a compresión real del hormigón elaborado por mano de obra sin supervisión técnica ni capacitación.

1.1.2 Formulación.

¿Cuál es la resistencia media a compresión del hormigón cuando lo elabora mano de obra no calificada y sin supervisión técnica?

1.1.3 Sistematización.

¿Qué experiencia tiene el personal que realiza la dosificación del hormigón?

¿Qué dosificación se utiliza para la mezcla?

¿De qué manera realiza el curado?

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general.

Determinar la resistencia media a la compresión del hormigón elaborado sin supervisión técnica, mediante un análisis estadístico de muestras provenientes de edificaciones en diferentes barrios de la ciudad de Tarija. Con la finalidad de evaluar si el hormigón utilizado cumple con los estándares de resistencia esperados para este tipo de construcciones.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Obtener muestras representativas de hormigón elaborado por mano de obra local.
- Determinar la resistencia a compresión de las muestras previamente obtenidas.
- Calcular la resistencia media del total de muestras analizadas.
- Registrar la dosificación que se utiliza en cada muestra.

1.3 Justificación.

1.3.1 Teórica.

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de abordar una brecha en el conocimiento sobre la resistencia a compresión real del hormigón cuando es elaborado por mano de obra sin capacitación ni supervisión técnica. A pesar de la amplia utilización del hormigón en la construcción, existe una falta de información específica en esta área, lo que resalta la relevancia académica de la investigación propuesta.

1.3.2 Metodológica.

Para el ensayo de compresión de las muestras se utilizarán las prensas marca "Controls" del laboratorio de hormigones de la carrera de Ingeniería Civil, perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.3.3 Práctica.

La resistencia del hormigón es un factor crucial en la construcción, y asegurarse de que el material cumpla con las especificaciones requeridas es esencial para garantizar la seguridad de las estructuras y evitar costosas fallas y reparaciones en el futuro.

En muchos entornos de construcción, especialmente en áreas con recursos limitados, la mano de obra no calificada o sin supervisión técnica puede ser una realidad común. Por lo tanto, comprender cómo esto afecta la resistencia del hormigón es de gran importancia práctica. Los resultados de esta investigación proporcionarán información valiosa sobre la calidad del hormigón en estas condiciones y podrían influir en las decisiones sobre el uso de mano de obra no calificada y la necesidad de supervisión técnica en la elaboración del hormigón.

1.4 Alcance del estudio.

1.4.1 Tipo de estudio.

En esta investigación se tomará un enfoque cuantitativo con el fin de obtener información detallada y precisa de la variación de la variable de estudio la cual es la resistencia compresión.

Se recopilarán datos y se analizarán para proporcionar una descripción detallada de la resistencia a compresión. Se obtendrán resultados cuantitativos que permitirán caracterizar

la resistencia a compresión, sin enfocarse en establecer relaciones de causa y efecto o explicar las razones detrás de los hallazgos.

En resumen, con el enfoque cuantitativo se podrá obtener una imagen clara y precisa de la resistencia a compresión del hormigón elaborado por mano de obra sin capacitación técnica.

1.4.2 Hipótesis.

El hormigón elaborado por mano de obra sin capacitación técnica ni una dosificación realizada por personal capacitado, presentará una resistencia a la compresión significativamente menor que el hormigón elaborado bajo supervisión técnica y con dosificación realizada por personal capacitado. Se espera que esta disminución en la resistencia sea de aproximadamente un 30% respecto a la resistencia esperada.

1.4.3 Restricciones.

Esta investigación será realizada en Bolivia, en el departamento de Tarija en la provincia cercado.

Se tomaron dos muestras de hormigón en las probetas especificadas para cada uno de los elementos estructurales principales como son columnas, vigas y zapatas, esto será realizado en un total de 10 obras sin supervisión técnica, dando un total de 60 muestras.

La toma de muestras se realizará en un periodo de tres meses, posterior a la toma de cada muestra estas serán sumergidas para su adecuado curado durante 28 días tras lo cual se realizará el ensayo de rotura a compresión.

2 Capítulo II

2.1 Marco teórico.

2.1.1 Hormigón.

Material compuesto que consiste esencialmente en un medio ligante dentro del cual hay partículas o fragmentos de agregado, generalmente una combinación de agregado fino y agregado grueso; en el hormigón de cemento portland el ligante es una mezcla de cemento portland y agua.(Mather et al., s. f.)

2.1.1.1 Características

(a) Densidad.

La densidad o masa específica del hormigón endurecido depende de muchos factores, principalmente de la naturaleza de los áridos, de su granulometría y del método de compactación empleado. Será tanto mayor cuanto mayor sea la densidad de los áridos utilizados y mayor cantidad de árido grueso contenga, bien clasificado; y tanto mayor cuanto mejor compactado esté.

De todas formas, las variaciones de densidad del hormigón son pequeñas, pudiendo tomarse en los cálculos el valor 2.300 kg/m³ para los hormigones en masa y 2.500 kg/m³ para los armados.(Portero et al., 2018)

(b) Compacidad.

La compacidad, que puede definirse como la cantidad de material sólido contenida en una unidad de volumen, está íntimamente ligada a la densidad y depende de los mismos factores que ésta, sobre todo del método de consolidación empleado.

Una buena compacidad no sólo proporciona una mayor resistencia mecánica (frente a esfuerzos, impactos, desgaste, vibraciones, etc.), sino también una mayor resistencia física (efecto de la helada) y química frente a las acciones agresivas, ya que, al contener una cantidad mínima de huecos o porosidades, las vías de penetración de los agentes exteriores son también mínimas.(Portero et al., 2018)

(c) Permeabilidad.

Las dos formas en que el agua puede penetrar en el hormigón: por presión y por capilaridad. Los factores que influyen en la permeabilidad son los mismos que hacen variar su red capilar y se enuncian en dicho apartado.

El más influyente es, sin duda, la relación agua/cemento. Al disminuir ésta, disminuye la permeabilidad: mientras que para una relación agua/cemento igual a 0,5 el factor de permeabilidad es aproximadamente 15, para 0,8 es alrededor de 450, o sea, treinta veces mayor.

Medir la permeabilidad de un hormigón es un problema difícil, que no se encuentra resuelto satisfactoriamente. Existen diversos métodos, unos dedicados a la permeabilidad bajo presión y otros a la permeabilidad por succión (absorción). Las medidas se efectúan por diferencia de pesada, o por el tiempo requerido para que el agua atravesase de una cara a otra, o por medición de superficie de mancha en una sección obtenida por corte, etc.

Pero ningún método proporciona garantía completa, siendo incierta la concordancia entre medidas realizadas según distintos métodos sobre un mismo hormigón.

Es imprescindible partir de un hormigón muy compacto. Aparte del empleo de impermeabilizantes de masa o de superficie, cabe aplicar recubrimientos a base de chapas metálicas, fieltro asfaltado, etc., o simplemente, enlucir la superficie con un buen mortero de cemento, de 10 a 20 mm de espesor.(Portero et al., 2018)

(d) Resistencia al desgaste.

En ciertos casos, como sucede en los pavimentos de carretera o de construcciones industriales, interesa que el hormigón presente una gran resistencia al desgaste. Para conseguirlo, la primera condición es emplear un hormigón seco, ya que la lechada superficial es un elemento débil, fácilmente desgastable y productor de polvo.

Es también imprescindible emplear arena silíceo y no caliza, al menos en una proporción no inferior al 30 % de la arena total.

Mayores garantías se obtienen aplicando un revestimiento delgado de alta resistencia al desgaste, que puede ser un mortero de cemento con árido fi no especial (carborundo,

corindón, sílice molida, granalla de hierro inoxidable, etc.) o un mortero especial de materias plásticas, resina epoxi, etc.

Pueden aplicarse también tratamientos superficiales endurecedores, como impregnación por fluosilicatos, silicatación, ocratación o carbonatación.(Portero et al., 2018).

2.1.1.2 Componentes.

(a) Cemento.

El cemento es un material aglutinante con propiedades de adherencia y cohesión, que permite la unión de materiales minerales entre sí, formando una mezcla compacta y homogénea. En la construcción, el cemento más usado es el cemento Portland, compuesto por materiales calcáreos, arcillosos y otros como óxidos de hierro, que se someten a elevadas temperaturas y posteriormente se mezclan con yeso para obtener un material homogéneo.

(Quintero & Rico, 2014)

(b) Agregado fino.

Agregado que atraviesa un tamiz de 9,5 mm (3/8 in.) y atraviesa casi totalmente un tamiz de 4,75 mm (No. 4) mientras que es predominantemente retenido sobre el tamiz de 75 µm (No. 200); o aquella porción que atraviesa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y es predominantemente retenida sobre el tamiz de 75 µm (No. 200).

(Mather et al., s. f.)

(c) Agregado grueso.

Agregado predominantemente retenido sobre un tamiz de 4,75 mm (No. 4), o aquella porción retenida sobre un tamiz de 4,75 mm (No. 4).

(Mather et al., s. f.)

2.1.2 Dosificación del hormigón.

La dosificación de un hormigón tiene por objeto determinar las proporciones en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo para obtener masas y hormigones que reúnan las características y propiedades exigidas en el proyecto.

Ya se comprende que el problema de la dosificación es complejo, porque depende de muchos factores, unos ligados a las propiedades exigidas al hormigón, otros a las características de

los materiales disponibles y otros, por último, a los medios de fabricación, transporte y colocación. Podría decirse que el proceso de dosificación es tanto un arte como una técnica.

Existen muchos métodos y reglas para dosificar teóricamente un hormigón, pero todos deben considerarse orientativos. Por ello, las proporciones definitivas de los componentes deben establecerse mediante ensayos de laboratorio, introduciendo después las correcciones que resulten necesarias o convenientes. Actualmente, y debido al gran desarrollo que ha experimentado en todos los países la industria del hormigón preparado, la mayor parte de los hormigones utilizados en edificación se dosifican y elaboran en central bajo condiciones bien controladas, con lo que se ha dado un gran paso para disponer de hormigones con las características y propiedades necesarias, amén de contar con la garantía correspondiente de la casa suministradora.

El punto de partida para establecer la dosificación puede ser, bien la resistencia mecánica, bien la dosificación de cemento por metro cúbico de hormigón compactado, habida cuenta de la durabilidad en ambos casos. (Portero et al., 2018)

2.1.2.1 El método A.C.I.

Es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que, a su vez, está basa en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas.

Antes de diseñar la mezcla, se deben tener datos previos del tipo de obra que se va a construir y los tipos de materiales que se van a usar para construir la obra.

(a) Elección del asentamiento.

Los valores del asentamiento recomendados son los mostrados en la siguiente tabla y se usan cuando el método de compactación utilizado es la vibración, para otros métodos se deben sumar 2.5 cm a los valores de la tabla.

ASENTAMIENTO (CM)	CONSISTENCIA (TIPO DE CONCRETO)	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACIÓN
0-2,0	MUY SECA	MUY PEQUEÑO	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaleas
2,0-3,5	SECA	PEQUEÑO	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3,5-5,0	SEMI-SECA	PEQUEÑO	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales
5,0-10,0	MEDIA	MEDIO	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración
10,0-15,0	HUMEDA	ALTO	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración

Tabla 1 Asentamiento del hormigón

(Quintero & Rico, 2014)

(b) Elegir el tamaño máximo nominal.

Se trata de elegir una adecuada granulometría, tener una masa más compacta y con menos vacíos. La siguiente tabla muestra los valores recomendados del tamaño máximo nominal para los diferentes tipos de construcciones.

DIMENSIÓN MÍNIMA DEL ELEMENTO (cm)	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL EN MM (PULGADAS)			
	MUROS REFORZADOS, VIGAS Y COLUMNAS	MUROS SIN REFUERZO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS SIN REFUERZO O POCO REFORZADAS
6-15	12(1/2") - 19(3/4")	19(3/4")	19(3/4") - 25(1")	19(3/4") - 38(1 1/2")
19-29	19(3/4") - 38(1 1/2")	38(1 1/2")	38(1 1/2") - 76(3")	
30-74	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3")
75 O MAS	38(1 1/2") - 76(3")	152(6")	38(1 1/2") - 76(3")	76(3") - 152(6")

Tabla 2 Tamaño nominal del agregado

(Quintero & Rico, 2014)

(c) Estimación del contenido de aire.

El contenido de aire beneficia la manejabilidad y la cohesión de la mezcla. La tabla muestra los valores recomendados para estimar el contenido de aire de la mezcla, teniendo como base las referencias que se especifican en la norma ACI 318 S-08.

AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SIGUIENTES GRADOS DE EXPOSICIÓN		
PULGADAS	mm		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38,10	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Tabla 3 Contenido de aire atrapado

(Quintero & Rico, 2014)

(d) Estimación de la cantidad de agua.

La demanda de agua en las mezclas se debe a aspectos de manejabilidad, adherencia e hidratación. La tabla muestra el requerimiento de agua en la mezcla, que está en función del asentamiento y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Condición del contenido de aire	Asentamiento cm	Agua en kg/m ³ de concreto para los TMN del agregado indicados							
		10	12,5	20	25	40	50	70	150
		--	--	--	--	--	--**	--**	--**
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	---
	Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
	15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	---
	Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

* Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son las máximas para agregados gruesos angulares razonablemente bien formados graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

** Los valores de asentamiento para un concreto que contenga un agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de asentamiento efectuado después de remover las partículas mayores de 40 mm por medio de cribado húmedo.

Tabla 4 Cantidad de agua en mezcla

(Quintero & Rico, 2014)

(e) Estimación de la relación agua cemento.

Este es el factor más importante en el diseño de mezclas de concreto, porque con él se pueden determinar los requisitos de resistencia, durabilidad, permeabilidad y acabado. Para determinar esta relación se utiliza la siguiente tabla:

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS		CONCRETO SIN INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)	CONCRETO CON INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)
Kg/cm ²	PSI		
175	2500	0,65	0,56
210	3000	0,58	0,50
245	3500	0,52	0,46
280	4000	0,47	0,42
315	4500	0,43	0,38
350	5000	0,40	0,35

Tabla 5 Relación agua - cemento

(Quintero & Rico, 2014)

2.1.3 Estadística.

Estadística (en singular). Se refiere a un conjunto de métodos, normas, reglas y principios para observar, agrupar, describir, cuantificar y analizar el comportamiento de un grupo.

La estadística descriptiva o deductiva tiene como finalidad colocar en evidencia aspectos característicos (promedios, variabilidad de los datos, etc.), que sirven para efectuar comparaciones sin pretender sacar conclusiones de tipo más general.

La estadística, de acuerdo con todo lo anterior, se podría definir como aquel método que permite no solo describir el hecho o fenómeno, sino que deducir y evaluar conclusiones acerca de una población, utilizando resultados proporcionados por una muestra.

(a) Población.

Es un conjunto de medidas o el recuento de todos los elementos que presentan una característica común. El termino población se usa para denotar el conjunto de elementos el cual se extrae de la muestra.

(b) Muestra.

Se define como un conjunto de medidas o el recuento de una parte de los elementos pertenecientes a la población. Los elementos se seleccionaban aleatoriamente, es decir, todos los elementos que componen la población tienen la misma posibilidad de ser seleccionados. (Bencardino, 2019)

2.1.4 Revisión bibliográfica.

2.1.4.1 Resistencia a la compresión.

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas, según métodos operatorios normalizados. Ahora bien, los valores de ensayo que proporcionan las distintas probetas son más o menos dispersos, en forma variable de una obra a otra, según el cuidado y rigor con que se confeccione el hormigón; y esta circunstancia debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

A pesar de que la relación agua/cemento es el factor que más influye en la resistencia del hormigón, no pueden darse valores fijos que relacionen ambas magnitudes porque dependen, además, de otros muchos factores.

La relación agua/cemento debe ser tan baja como sea posible, pero teniendo en cuenta que debe permitir una adecuada trabajabilidad y compactación del hormigón y que debe evitarse, además, el fenómeno de segregación de los áridos gruesos. A veces, para conseguir estas características, es necesario utilizar mayor cantidad de cemento de la estrictamente necesaria, o emplear aditivos adecuados.

Conviene recordar que la resistencia característica, f_{ck} , que se consigue en obra es obviamente menor que la resistencia media, f_{cm} , obtenida en los ensayos de laboratorio. (Portero et al., 2018).

Código	Valor de f_{ck} que se desea en N/mm^2 (MPa)	Valor necesario de f_{cm} en N/mm^2 (MPa)
Código Modelo	$f_{ck} \leq 50$	$f_{cm} = f_{ck} + 8$
Código ACI	$f_{ck} < 20$ $20 \leq f_{ck} \leq 35$ $f_{ck} > 35$	$f_{cm} = f_{ck} + 7$ $f_{cm} = f_{ck} + 8,5$ $f_{cm} = f_{ck} + 10$

Tabla 6 Resistencia media en laboratorio

(Portero et al., 2018)

2.1.4.2 Ensayo de la resistencia a la compresión.

El problema puede plantearse así: dados n resultados obtenidos al ensayar a compresión simple n probetas cilíndricas 15×30 de un mismo hormigón, determinar un valor que sea representativo de la serie y, por consiguiente, del propio hormigón.

Tradicionalmente se ha seguido el criterio de adoptar, para dicho valor, la media aritmética f_{cm} de los n valores de roturas, llamada resistencia media. Pero este valor no refleja la verdadera calidad del hormigón en obra, al no tener en cuenta la dispersión de la serie.

Si tenemos dos hormigones con la misma resistencia media, no cabe duda de que es más fiable aquel que presenta menor dispersión. Por consiguiente, el coeficiente de seguridad que se adopte en el cálculo debe ser mayor para el hormigón más disperso. La conclusión que se extrae es que adoptar la resistencia media como base de los cálculos conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de la ejecución.

Para eliminar este inconveniente y conseguir que se trabaje con un coeficiente de seguridad único, homogéneo en todos los casos, se ha adoptado el concepto de resistencia característica del hormigón, que es una medida estadística que tiene en cuenta no sólo el valor de la media aritmética f_{cm} de las roturas de las diversas probetas, sino también la desviación típica relativa o coeficiente de variación, δ , de la serie de valores.

Se define como resistencia característica, f_{ck} , del hormigón aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 %, es decir, que existe una probabilidad de 0,95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f_{ck} . De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal, la resistencia característica viene dada por la expresión:

$$f_{ck} = f_{cm} * (1 - 1.64 * \delta)$$

donde f_{cm} es la resistencia media y δ el coeficiente de variación de la población de resistencias:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci}$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}}\right)^2}$$

El valor del coeficiente de variación δ depende de las condiciones de ejecución del hormigón. Para los hormigones fabricados en central, el coeficiente de variación suele oscilar entre 0,08 y 0,20, según la calidad de la planta. Un coeficiente de variación superior a 0,20 es propio de los hormigones fabricados a mano o en pequeñas hormigoneras de obra, los cuales no son aconsejables salvo para obras de pequeña importancia.

El concepto de resistencia característica se refiere, por antonomasia, a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas 15×30 de 28 días de edad, fabricadas, conservadas y rotas según métodos normalizados; pero puede hacerse extensivo a cualquier tipo de ensayo, clase de probeta, modo de conservación y edad del hormigón, ya que se trata de una definición de tipo estadístico.(Portero et al., 2018)

2.1.4.3 Variación en el tiempo de la resistencia a compresión.

La resistencia del hormigón evoluciona con la edad. Por lo general sus valores son crecientes, salvo casos anómalos.

La velocidad de crecimiento de la resistencia depende fundamentalmente del tipo de cemento, aunque también de la temperatura durante el curado. En la figura se muestra, de forma cualitativa, esta dependencia.

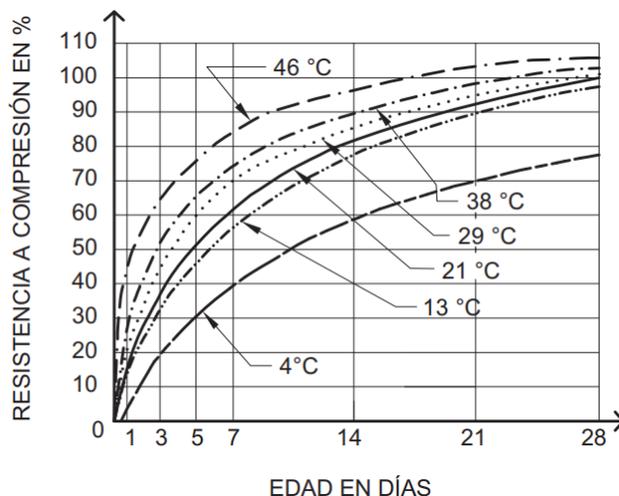


Tabla 7 Variación en el tiempo de la resistencia

(Portero et al., 2018)

La Instrucción española propone la siguiente relación entre la resistencia media en un tiempo t y la de 28 días:

$$\frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} = e^{s(1-\sqrt{\frac{28}{t}})}$$

donde:

t = Edad del hormigón en días.

$f_{cm}(t)$ = Valor medio de la resistencia del hormigón a compresión a t días de edad.

f_{cm} = Valor medio de la resistencia del hormigón a compresión a 28 días de edad. Si no se conoce su valor puede suponerse $f_{cm} = f_{ck} + 8$.

s = Coeficiente que depende del tipo de cemento:

$s = 0,20$ para cementos de alta resistencia y endurecimiento rápido (CEM 42,5R y CEM 52,5R),

$s = 0,25$ para cementos normales y endurecimiento rápido (CEM 32,5R y CEM 42,5);

$s = 0,38$ para cementos de endurecimiento lento (CEM 32,5).

(Portero et al., 2018)

2.1.4.4 Fuentes de la variación de la resistencia a compresión.

La variación en las resistencias de especímenes de concreto depende del control que se lleva sobre los materiales, la fabricación del concreto y los ensayos. Las diferencias en las resistencias pueden deberse a dos causas fundamentales como se muestra en la siguiente tabla

<i>Principales fuentes de variación de la resistencia a Compresión</i>	
DEBIDO A VARIACIONES EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO	DEBIDO A DIFERENCIAS EN LOS MÉTODOS DE PRUEBA
<ol style="list-style-type: none"> 1) Cambios en la relación Agua/Cemento. <ol style="list-style-type: none"> a) Control deficiente de la cantidad de agua. b) Variación excesiva de humedad en los agregados. c) Agua adicional a pie de obra. 2) Variación en los requerimientos de agua de mezcla. <ol style="list-style-type: none"> a) Gradación de los agregados, absorción y forma. b) Características del Cemento y Aditivos. c) Contenido de aire. d) Tiempo de suministro y temperatura. 3) Variación en las características y proporciones de los ingredientes. <ol style="list-style-type: none"> a) Agregados. b) Cemento. c) Puzolanas. d) Aditivos. 4) Variación ocasionada por el transporte, colocación y compactación. 5) Variación en la temperatura y curado 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Procedimientos de muestreo inadecuados. 2) Dispersiones debidas a las formas de preparación manipuleo y curado de cilindros de prueba. 3) Mala calidad de los moldes para cilindros de prueba. 4) Defectos del curado: <ol style="list-style-type: none"> a) Variaciones de temperatura. b) Humedad variable. c) Demoras en el transporte de los cilindros al laboratorio. 6) Procedimientos de ensayo deficientes. <ol style="list-style-type: none"> a) En el refrendado (capping) de los cilindros. b) En el ensayo de compresión.

Tabla 8 Fuentes de variación en la resistencia

(Castro Mendizabal & Yucra Vargas, 2018)

Una variación aleatoria es normal para cualquier proceso; un proceso estable mostrara solo mostrara variaciones aleatorias. Fuentes de variación asignables representaran cambios sistemáticos asociados típicamente con un cambio fundamental en las características estadísticas, tales como la media, desviación estándar, coeficiente de variación o cualquier otra medida estadística.

La desviación estándar es el indicador de variación de valores referentes a la media más utilizado. Sin embargo, a veces es más informativo utilizar el coeficiente de variación cuando se compara la variación de valores entre dos grupos de resultados una marcada diferencia en la resistencia.(Bognacki & Parnes, s. f.)

2.1.4.5 Análisis de los datos de resistencia a compresión.

Se requiere un número suficiente de pruebas para indicar con precisión la variación de la resistencia del concreto y permitir la aplicación de procedimientos estadísticos apropiados para interpretar los resultados de las pruebas. Los procedimientos estadísticos proporcionan una base sólida para determinar la calidad y resistencia potencial del concreto y para expresar los resultados de la forma más útil.

El resultado de una prueba de resistencia es la resistencia promedio de todas las muestras de la misma edad, fabricadas a partir de una muestra tomada de un solo lote de concreto. Una prueba de resistencia no puede basarse en un solo cilindro. ACI 318 establece que una "prueba de resistencia deberá ser el promedio de la resistencia de al menos dos cilindros de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm), o tres cilindros de 4 x 8 pulgadas (100 x 200 mm) del mismo lote de concreto probados a la misma edad.

2.1.5 Metodología.

2.1.5.1 Toma de muestras

Se realizo trabajo de campo en el cual se recolectarán dos muestras representativas del hormigón fresco usado en las columnas, vigas y zapatas, siendo este elaborado por mano de obra sin capacitación técnica para este fin se utilizarán moldes estandarizados de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura de acuerdo a lo especificado por la normativa. Este proceso se llevará a cabo en diez obras diferentes dispersas en el departamento, dando un total de 60 muestras recolectadas. Estas muestras se obtendrán de

manera sistemática y se registrarán de forma precisa para su posterior análisis en el laboratorio.

2.1.5.2 Pruebas de resistencia a compresión.

Las muestras recolectadas fueron sometidas a pruebas de resistencia a compresión en una prensa de marca “Controls” en el laboratorio de hormigón. Este proceso permitirá obtener datos cuantitativos sobre la resistencia a compresión del hormigón elaborado por mano de obra sin capacitación técnica.

2.1.5.3 Análisis estadístico.

Se utilizó para determinar la resistencia media, este análisis permitió obtener un valor representativo que refleje la resistencia promedio del hormigón elaborado por mano de obra sin capacitación técnica.

El análisis estadístico consistió en calcular medidas descriptivas, como la media aritmética, que proporcionó el valor promedio de resistencia a compresión. Además, se calcularon otras medidas estadísticas, como la desviación estándar, que indica la variabilidad de los valores de resistencia obtenidos.

2.1.6 Métodos.

El presente proyecto de grado se llevó a cabo mediante un enfoque empírico, utilizando métodos experimentales en el laboratorio de hormigón. Se realizarán una serie de experimentos en los que se prepararán diferentes muestras de hormigón mediante el empleo de mano de obra no especializada. Estas muestras serán sometidas a pruebas de resistencia a compresión utilizando equipos y protocolos estándar en el laboratorio de hormigón. Los resultados obtenidos serán analizados, permitiendo así evaluar la calidad del hormigón elaborado.

2.1.7 Medios y materiales.

2.1.7.1 Vehículo personal.

Se hizo uso de un vehículo personal para desplazarse a los lugares donde se encuentran las obras sin supervisión técnica, esto permitirá la recopilación de muestras necesarias de manera eficiente y su traslado al laboratorio.

2.1.7.2 Moldes para probetas para hormigón.

Se utilizaron probetas estándar de acero disponibles en el laboratorio de hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho que cumplen con las características exigidas en la normativa ACI 214R-11.

2.1.7.3 Materia prima.

Durante el proceso de recolección de muestras se requiera compensar el hormigón utilizado. Para ello, se dispuso con la materia prima necesaria, como cemento y agregados para compensar el volumen de hormigón de las muestras tomadas.

2.1.7.4 Prensa.

En el laboratorio de hormigón se utilizó una prensa de marca “Controls” para realizar las pruebas de resistencia a compresión en las muestras de hormigón. Esta prensa es un equipo especializado que aplicará cargas controladas sobre las probetas, permitiendo obtener los valores de resistencia a compresión de cada muestra.

2.1.7.5 Microsoft office Excel.

En este proyecto, se utilizó Microsoft Excel como una herramienta fundamental para el análisis y procesamiento de los datos recolectados durante las pruebas de resistencia a compresión.

Utilizando las fórmulas y funciones incorporadas en Excel, se realizaron cálculos estadísticos como la media, desviación estándar y otros indicadores relevantes. Estas funciones permiten obtener medidas descriptivas y analizar la variabilidad de los resultados obtenidos.

3 Capítulo III

Desarrollo de la investigación

3.1 Criterios de selección de obras.

Las obras seleccionadas son dirigidas por personal sin capacitación técnica en la elaboración de hormigón.

Las obras no deben haber contado con aportes al diseño por parte de personal capacitado en hormigón, diseño estructural o arquitectura.

Las obras deben estar ubicadas dentro de los límites de la provincia Cercado de la ciudad de Tarija.

Se dará prioridad a las obras ubicadas en los distintos distritos de la ciudad de Tarija.¹

3.2 Características de las Muestras.

Se extrajeron muestras representativas de hormigón antes de su puesta en la obra, para ello se utilizaron probetas cilíndricas estandarizadas por la normativa ACI- 214-R11, con 15cm de diámetro y 30cm de altura.

3.3 Preparación de las muestras.

El hormigón fue suministrado por el personal de la obra a cargo de la construcción², la preparación de las muestras fue realizada por el investigador, la misma consistió en colocar del material hasta un tercio de la altura de la probeta y realizar punciones con una barra de acero corrugado de 10mm de diámetro y 40cm de longitud, se realizaron 25 punciones de acuerdo a lo especificado en la siguiente tabla:

¹ Ver anexo 1 Ubicación de Obras

² Ver anexos 2 y 3 Fotografías de las obras

TABLE 4 Molding Requirements by Rodding

Specimen Type and Size	Number of Layers of Approximately Equal Depth	Number of Roddings per Layer
Cylinders:		
Diameter, mm [in.]		
100 [4]	2	25
150 [6]	3	25
225 [9]	4	50
Beams:		
Width, mm [in.]		
100 [4] to 200 [8]	2	see 9.3
>200 [8]	3 or more equal depths, each not to exceed 150 mm [6 in.].	see 9.3

Tabla 9 Numero de punciones requeridas

(C09 Committee, s. f.)

La variación máxima respecto a la sección transversal nominal no deberá exceder los 3 mm para los moldes con una profundidad o amplitud de 150 mm o más. Los moldes deberán producir especímenes que tengan al menos la misma longitud, pero no más de 2 mm más corta que la longitud requerida.

Para la compactación debe colocarse el concreto en el molde en el número requerido de capas de volumen aproximadamente igual, compactar uniformemente cada capa sobre la sección transversal con el extremo redondeado de la varilla, utilizando el número necesario de golpes, debe de compactarse completamente la capa inferior en toda su profundidad, para cada capa superior, permita que la varilla penetre a través de la capa que se está compactando y en la capa inferior, aproximadamente 25 milímetros.

Después de compactar cada capa, golpee ligeramente los lados del molde de 10 a 15 veces con un mazo para cerrar cualquier agujero dejado por la compactación y liberar cualquier burbuja de aire grande que pueda haber quedado atrapada. Utilice la palma abierta para golpear los moldes de cilindro que sean susceptibles a abolladuras u otras distorsiones permanentes si se golpean con un mazo. Después de golpear, nivele cada capa del concreto a lo largo de los lados y extremos de los moldes con una paleta u otra herramienta adecuada. Los moldes con poco contenido de concreto deberán ser ajustados con concreto

representativo durante la consolidación de la capa superior. Los moldes con exceso de concreto deberán tener el concreto excedente retirado.

Después de la consolidación, realice el acabado de las superficies superiores al nivelarlas con la varilla de compactación donde la consistencia del concreto lo permita, o con una llana de mano o paleta. Si lo desea, cubra la superficie superior de los cilindros recién hechos con una capa delgada de pasta de cemento Portland rígida, permitiendo que endurezca y cure junto con el espécimen.

(C09 Committee, s. f.)

3.4 Curado de muestras.

Para un curado adecuado es necesario proteger los especímenes de la exposición directa a la luz solar y, en caso de utilizarse, a dispositivos de calefacción radiante.

Se puede crear un entorno de humedad satisfactorio durante el curado inicial de los especímenes mediante uno o más de los siguientes procedimientos:

- Sumergir los especímenes moldeados con tapas de plástico en agua.
- Almacenar los especímenes en un contenedor o recinto.
- Colocar los especímenes en fosas de arena húmeda.
- Cubrir los especímenes con tapas de plástico.
- Colocar los especímenes dentro de bolsas de plástico.
- Cubrir los especímenes con tela mojada.

La inmersión en agua puede ser el método más sencillo para mantener las condiciones de humedad y temperatura requeridas durante el curado inicial.

Deje los moldes sin perturbar durante 24 ± 8 horas, manteniéndolos a una temperatura de 60° a 80° F. Durante el almacenamiento inicial, cada aumento de 10° F en la temperatura del concreto puede reducir la resistencia a la compresión hasta en 300 psi. La resistencia a la compresión puede reducirse hasta en un 50% si los cilindros de prueba se congelan. Las cajas de curado construidas adecuadamente son ideales para mantener las condiciones de curado durante el período de almacenamiento inicial.

No desmolde los cilindros si los va a transportar al laboratorio dentro de las 48 horas posteriores al moldeo. Los cilindros transportados después de 48 horas se desmoldan después de 24 ± 8 horas y se colocan en agua de cal saturada.

(Basham, s. f.)

Al finalizar el curado inicial y en un plazo de 30 minutos después de retirar los moldes, cure los especímenes con agua que se mantenga en sus superficies en todo momento utilizando tanques de almacenamiento de agua o salas húmedas.

(C09 Committee, s. f.)

3.5 Número de pruebas a realizar.

Se llevaron a cabo un total de sesenta pruebas de resistencia a la compresión, en un conjunto de diez proyectos distintos. En cada uno de estos proyectos se realizó un proceso de evaluación al hormigón, que consistió en la realización de dos ensayos para determinar la resistencia a la compresión del hormigón utilizado en las zapatas, columnas y vigas.

El resultado de la prueba de resistencia es la resistencia promedio de todos los especímenes de la misma edad, fabricados a partir de una muestra tomada de un solo lote de concreto. Una prueba de resistencia no puede basarse en un solo cilindro.

La ACI 318 establece que "una prueba de resistencia será la resistencia promedio de al menos dos cilindros de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm), o tres cilindros de 4 x 8 pulgadas (100 x 200 mm) del mismo lote de concreto probados a la misma edad".³

Un solo resultado de prueba de resistencia⁴ de una mezcla de concreto no proporciona datos suficientes para el análisis estadístico. Al igual que con cualquier estimador estadístico, la confianza en la estimación es función del número de resultados de prueba.

Aunque se prefiere una muestra de más de 30 pruebas, la desviación estándar dentro del lote se puede estimar a partir del rango promedio de al menos 10 resultados de prueba de resistencia de la misma edad. (*ACI 214R-11 Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*, s. f.)

³ Ver anexo 4 Probetas desmoldadas

⁴ Ver anexos 5,6 y 7 Ensayo de probetas

3.6 Análisis de estadísticos.

3.6.1 Resistencia media.

A menos que se especifique lo contrario f'_c debe basarse en ensayos a los 28 días. Si el ensayo no es a los 28 días, se debe especificar la edad del ensayo para f'_c en los documentos de construcción.

(318-19 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, 2019)

Se asume que los resultados de las pruebas de resistencia siguen una distribución normal. La siguiente figura muestra la característica de la "curva en forma de campana" típica de la distribución normal.

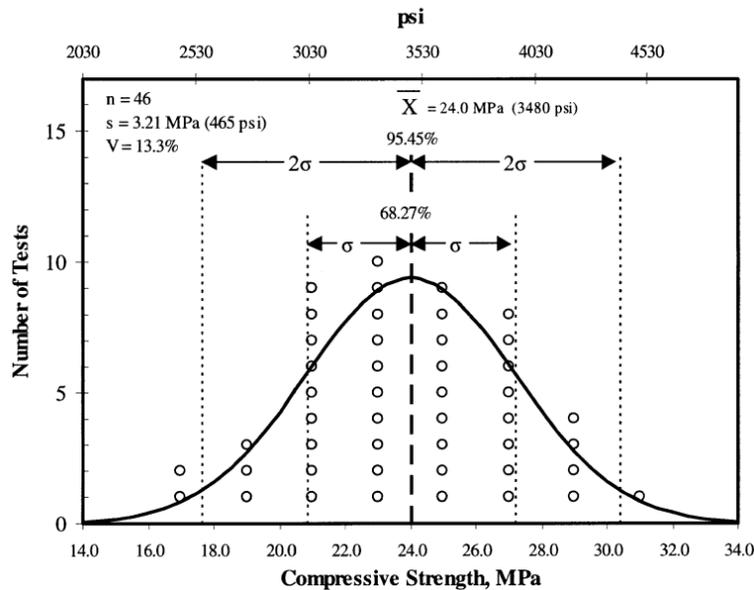


Tabla 10 Distribución normal de la resistencia

(ACI 214R-11 Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete, s. f.)

La distribución normal está definida matemáticamente completamente por dos parámetros estadísticos: la media poblacional μ y la desviación estándar σ . Una característica matemática de la distribución normal es que el 68.27% de los datos se encuentran dentro de 1 desviación estándar de la media, y que el 95.45% de los datos están dentro de 2 desviaciones estándar. En el gráfico se incluyen notas que indican el número de muestras n ; la desviación estándar de la muestra s , que es una estimación de σ ; el coeficiente de variación V ; y la media de la muestra \bar{X} , que estima μ .

También en el gráfico hay un histograma de los resultados de las pruebas medidas ordenados en rangos de resistencia. Cada punto representa una prueba, lo que indica que este conjunto de datos sigue una distribución normal. Graficar histogramas es una de las formas más sencillas de verificar la normalidad de los datos.

El promedio de los resultados de las pruebas de resistencia X se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{1}{n} \sum X_i = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n)$$

donde X_i es el resultado de la i -ésima prueba de resistencia, es decir, el promedio de al menos dos cilindros de prueba de concreto de 6 x 12 pulgadas (150 x 300 mm) o tres cilindros de 4 x 8 pulgadas (100 x 200 mm). X_2 es el segundo resultado de la prueba de resistencia, X_3 es el tercero, y así sucesivamente. $\sum X_i$ es la suma de todos los resultados de las pruebas de resistencia, y n es el número de pruebas en el registro.

3.6.2 Desviación estándar.

La desviación estándar es la medida de dispersión de datos de prueba más reconocida. Una estimación de la desviación estándar poblacional σ es la desviación estándar de la muestra s . La desviación estándar poblacional incluye todos los posibles datos, a menudo considerados una cantidad infinita de puntos de datos.

La muestra es una porción de la población, que consta de un número finito de puntos de datos. La desviación estándar de la muestra se obtiene mediante la ecuación (a) o su equivalente algebraico, la ecuación (b). Esta última ecuación es preferible para el cálculo debido a que es más simple y minimiza los errores de redondeo.

$$(a) \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$(b) \quad s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}}$$

Donde s es la desviación estándar de la muestra; n es el número de resultados de pruebas de resistencia en el registro; \bar{X} es la media de la muestra, o el resultado promedio de las pruebas de resistencia; y $\sum X$ es la suma de los resultados de las pruebas de resistencia.

3.6.3 Coeficiente de variación.

La desviación estándar de la muestra expresada como un porcentaje de la resistencia promedio \bar{X} se denomina coeficiente de variación.

$$V = \frac{s}{\bar{X}} \times 100$$

Donde V es el coeficiente de variación, s es la desviación estándar de la muestra y \bar{X} es el resultado promedio de las pruebas de resistencia.

El coeficiente de variación se ve menos afectado por la magnitud del nivel de resistencia, por lo tanto, es más útil que la desviación estándar para comparar el grado de control en un amplio rango de resistencias a la compresión. El coeficiente de variación se utiliza típicamente al comparar la dispersión en grupos de resultados de pruebas de resistencia con una diferencia en la resistencia promedio mayor de 1000 psi (7 MPa).

(ACI 214R-11 Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete, s. f.)

3.6.4 Rango de variación.

Es la variable estadística obtenida restando el valor más bajo del valor más alto en un conjunto de datos se llama rango. Al evaluar resultados de pruebas de concreto, el rango dentro de la prueba R de un resultado de prueba de resistencia se encuentra restando la resistencia más baja de un solo cilindro de la resistencia más alta de un solo cilindro de dos o más cilindros que componen un resultado de prueba de resistencia.

El rango promedio dentro del lote se utiliza para estimar la desviación estándar dentro del lote. Cuando se utilizan dos cilindros de la misma muestra probados al mismo tiempo para una prueba, el rango de esa prueba a veces se llama "diferencia entre pares".

(ACI 214R-11 *Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*, s. f.)

$$Rv = R_{Mayor} - R_{Menor}$$

$$Rv = 13.11 - 7012$$

$$Rv = 5.99MPa$$

3.6.5 Requisitos de Resistencia mínima.

Todas las probetas realizadas en los ensayos de laboratorio son realizadas en condiciones altamente controladas, estos resultados deben de expresarse con una tolerancia, sin especificar un mínimo absoluto de resistencia.

Para satisfacer este requisito con una base estadística se debe buscar que la resistencia media del hormigón “Fcr” exceda el “fcd esperado, siendo “Fcr” afectado por el coeficiente de variación y por la cantidad de pruebas realizadas.

De manera resumida “Fcr” deber de ser mayor o igual a “fc” más el efecto de un coeficiente.

También será necesario evaluar una cantidad de muestras cuya resistencia caerá por debajo de la resistencia deseada, esto es determinado asumiendo que las resistencias siguen una distribución normal y con una probabilidad que está de acuerdo a la cantidad de muestras tomadas

$$f'_{cr} = f'_c + zS$$

Required average compressive strength	Specified compressive strength
$f'_{cr} = f'_c + 1000$ psi ($f'_{cr} = f'_c + 7$ MPa)	when $f'_c < 3000$ psi ($f'_c < 21$ MPa)
$f'_{cr} = f'_c + 1200$ psi ($f'_{cr} = f'_c + 8$ MPa)	when $f'_c \geq 3000$ psi and $f'_c \leq 5000$ psi ($f'_c \geq 21$ MPa and $f'_c \leq 35$ MPa)
$f'_{cr} = 1.10f'_c + 700$ psi ($f'_{cr} = 1.10f'_c + 5$ MPa)	when $f'_c > 5000$ psi ($f'_c > 35$ MPa)

Tabla 11 Resistencia mínima en laboratorio

Percentages of tests within $\pm z\sigma$	Chances of falling below $f'_c - z\sigma$	z
40	3 in 10 (30%)	0.52
50	2.5 in 10 (25%)	0.67
60	2 in 10 (20%)	0.84
68.27	1 in 6.3 (15.9%)	1.00
70	1.5 in 10 (15%)	1.04
80*	1 in 10 (10%)*	1.28*
90	1 in 20 (5%)	1.65
95	1 in 40 (2.5%)	1.96
95.45	1 in 44 (2.3%)	2.00
98*	1 in 100 (1%)*	2.33*
99	1 in 200 (0.5%)	2.58
99.73	1 in 741 (0.13%)	3.00

3.7 Obras civiles analizadas.

3.7.1 Casa un nivel lomas patriotas – Senac.

Vivienda unifamiliar de un solo nivel elaborada por una sola persona, sin el apoyo de ningún ayudante o personal eventual más que el contratado para el día del vaciado de losa, las zapatas de la obra se realizaron a poca profundidad, no se realizó un curado luego del vaciado de ninguna de las zapatas, luego del fraguado se procedió a rellenar la excavación con el mismo material retirado del lugar.

Para la elaboración de las columnas se evidencio el uso de encofrados con evidente desgaste y con un recubrimiento de aceite de motor, colocados los encofrados, el hormigón se elaboró en una mezcladora sin realizar mediciones para la dosificación de los materiales los cuales

se encontraban almacenados a la intemperie, tras el desencofrado de las vigas se realizó el curado mediante el riego con el uso de una manguera, el intervalo en el que se realizó el curado no obedecía a ningún criterio técnico o normativa.

La elaboración de las vigas paso por un proceso idéntico al de las columnas, en ninguno de los elementos estructurales se evidencio el uso de vibradores, el proceso que se sigue es el del punzonamiento de la mezcla fresca.

3.7.2 Casa 2 niveles - Vía Tomatitas.

Vivienda unifamiliar de dos niveles, elaborada por un grupo de seis personas, siendo el encargado de la obra la persona de mayor edad en el grupo.

Las zapatas se realizaron a una profundidad de un metro, tras el fraguado se rellenó el espacio dejado por la excavación, no se realizó ningún tipo de curado, se evidencio que el nivel freático de la zona es elevado por lo que, al momento del relleno, parte de las zapatas se encontraban sumergidas.

Para la elaboración de vigas y columnas se utilizaron encofrados realizados en obra con material nuevo, la dosificación del hormigón se realizó a criterio propio del encargado de obra sin una dosificación adecuada, el curado de las piezas se realizó en un intervalo de tiempo no constante mediante riego.

En ninguno de los elementos estructurales se evidencio la realización de un vibrado.

3.7.3 Distribuidora de Cerveza.

Edificación de un solo nivel destinada a funcionar como almacén de un comercio local, elaborado por dos personas en obra sin que ninguno sea el jefe de obra.

Se realizo una cimentación superficial similar a un sobrecimiento el cual se realizó a poca profundidad, el tiempo que paso entre el vaciado y el desencofrado de los cimientos fue de dos semanas, siendo que en este tiempo no se evidenciaron trabajos en el sitio.

Para la elaboración de las columnas se utilizaron encofrados en los que se evidenciaba su uso, pero se encontraban en buenas condiciones.

El hormigón utilizado para la elaboración de las vigas y columnas fue elaborado en una mezcladora, se mantuvo un ligero control sobre la dosificación de los materiales utilizados

en la elaboración del hormigón, la dosificación usada se mantiene como la dosificación 1:2:3 que se utiliza de manera indistinta sin tomar en cuenta variaciones en el material.

Tras el vaciado de las vigas no se evidencio ningún tipo de curado y la obra no presento ningún trabajo posterior por un periodo de seis semanas.

3.7.4 Casa Pequeña Turumayo.

Vivienda unifamiliar de un solo nivel con techo de calamina, elaborado por personal residente en la zona de Turumayo.

La obra presenta zapatas con una profundidad de aproximadamente 60 centímetros, estas no recibieron ningún tipo de curado.

La elaboración de las vigas y columnas fue realizada con la misma dosificación utilizada en las zapatas, en estos elementos se realizó un curado en un periodo fijo de 3 veces por día, coincidiendo los mismos con el ingreso del personal a obra, el descanso a medio día y el retiro del personal en horas de la tarde.

3.7.5 Quincho y segundo piso zona Senac.

Vivienda multifamiliar en la zona de Senac, siendo la construcción analizada una ampliación a la vivienda previamente construida, obra a cargo de una persona con personal contratado de manera eventual para trabajos puntuales.

En la elaboración de las zapatas se realizó una excavación de aproximadamente un metro, se realizó un escaso curado de las zapatas mediante riego de las mismas.

Para la elaboración de vigas y columnas se utilizaron encofrados con cierto desgaste, la dosificación se realizó al criterio del jefe de obra, los encofrados utilizados en columnas se mantuvieron en su lugar durante diez días durante los cuales se realizaron trabajos en la edificación previamente construida.

3.7.6 Casa Maestra La Salle Vía Turumayo.

Vivienda unifamiliar de tamaño reducido con techo a una sola agua, realizado por dos personas.

La cimentación se realizó a poca profundidad, las zapatas tuvieron un curado mediante riego de manera constante durante un día posterior al fraguado, el hormigón utilizado para las

zapatas fue realizado con agregado grueso de diferente origen al utilizado en el resto de la obra.

En las columnas y vigas se utilizó tanto el mismo material como la misma dosificación, se utilizaron encofrados con desgaste excesivo y daño evidente.

El curado de las columnas se realizó de manera intensiva durante los días posteriores al desencofrado, siendo este realizado múltiples veces durante la jornada de trabajo, en las vigas la intensidad del curado disminuyó de manera considerable, siendo este realizado de manera ocasional durante la jornada.

3.7.7 Abogado Lomas de Tomatitas.

Vivienda unifamiliar de dos niveles con cubierta de calamina, realizado por cuatro personas residentes de la zona.

La elaboración de los cimientos se realizó de manera superficial de la misma manera que un sobrecimiento, utilizando como encofrado placas de madera aglomerada, se realizó un curado de los cimientos a las pocas horas del desencofrado mediante un solo riego de los elementos.

Las columnas realizadas son de una sección transversal pequeña, estas fueron rodeadas con viguetas pretensadas destinadas a actuar como refuerzo de las mismas, se realizó un curado periódico dos veces al día.

Para la elaboración de las vigas se utilizó el mismo material que para las columnas, tras el vaciado de las vigas se evidenció el uso de vibradores para el correcto acomodado de la mezcla fresca.

3.7.8 Bodega - almacén singani.

Estructura destinada a funcionar como almacén de material para una destilería, cuenta con una cubierta de calamina sujeta por una estructura de madera.

Las zapatas fueron realizadas de manera superficial y no se realizó ningún tipo de curado

Para la elaboración de las vigas y columnas se utilizaron agregados extraídos de la zona y dosificados sin un criterio técnico, en ambos elementos se realizó un escaso curado.

3.7.9 Curandera San Blas.

Estructura destinada como expansión de una vivienda de adobe previamente construida, cuenta con zapatas elaboradas a una profundidad de aproximadamente 40cm, separadas a 4 metros una de otra.

La obra estuvo a cargo de personal residente en la zona, el hormigón elaborado no tuvo ningún tipo de control en la dosificación o su curado.

3.7.10 Casa pequeña junto PTA San Blas.

Vivienda unifamiliar de tamaño reducido con techo a una sola agua, realizado por los miembros de la familia dueña de la edificación.

La cimentación se realizó a poca profundidad, esta presento un curado constante durante los días posteriores al fraguado.

Para la elaboración de las vigas y columnas se utilizaron placas de madera con excesivo desgaste y pandeo, el hormigón se elaboró en el lugar de obra con el uso de una mezcladora, pero sin el conocimiento de una dosificación por lo cual esta dependió del criterio del personal en obra.

4 Capítulo IV

4.1 Análisis de resultados.

Tras la toma de muestras en distintas obras en la ciudad, su adecuado curado y ensayo de rotura a compresión en laboratorio se obtuvieron los siguientes valores proyectando la resistencia a los 28 días:

Obra	Elemento estructural	Resistencia en laboratorio (MPa)	Edad (días)	Porcentaje de resistencia alcanzado	Resistencia proyectada (MPa)
Obra 1	Zapata 1	9,45	14	82,40	11,47
	Zapata 2	9,72	14	82,40	11,80
Casa un nivel lomas patriotas - Senac	Columna 1	6,15	14	82,40	7,46
	Columna 2	6,32	14	82,40	7,67
	Viga 1	6,3	14	82,40	7,65
	Viga 2	6,2	14	82,40	7,52
Obra 2	Zapata 1	9,02	14	82,40	10,95
	Zapata 2	10	14	82,40	12,14
Casa 2 niveles - Vía Tomatitas	Columna 1	8,62	14	82,40	10,46
	Columna 2	8,25	14	82,40	10,01
	Viga 1	8,32	14	82,40	10,10
	Viga 2	8,66	14	82,40	10,51
Obra 3	Zapata 1	8,62	14	82,40	10,46
	Zapata 2	8,4	14	82,40	10,19
Distribuidora de Cerveza	Columna 1	7,12	14	82,40	8,64
	Columna 2	7,75	14	82,40	9,41
	Viga 1	7,3	14	82,40	8,86
	Viga 2	6,95	14	82,40	8,43
Obra 4	Zapata 1	8,22	14	82,40	9,98

Casa Pequeña Turumayo	Zapata 2	8,35	14	82,40	10,13
	Columna 1	7,65	14	82,40	9,28
	Columna 2	7,4	14	82,40	8,98
	Viga 1	7,7	14	82,40	9,34
	Viga 2	7,33	14	82,40	8,90
Obra 5	Zapata 1	7,85	14	82,40	9,53
	Zapata 2	7,72	14	82,40	9,37
Quincho y segundo piso zona senac	Columna 1	7,12	14	82,40	8,64
	Columna 2	7,35	14	82,40	8,92
	Viga 1	7,44	14	82,40	9,03
	Viga 2	7,62	14	82,40	9,25
Obra 6	Zapata 1	9,12	14	82,40	11,07
	Zapata 2	9,26	14	82,40	11,24
Casa Maestra La Salle Vía Turumayo	Columna 1	8,95	14	82,40	10,86
	Columna 2	8,82	14	82,40	10,70
	Viga 1	8,74	14	82,40	10,61
	Viga 2	8,62	14	82,40	10,46
Obra 7	Zapata 1	10,8	14	82,40	13,11
	Zapata 2	10,75	14	82,40	13,05
Abogado Lomas de Tomatitas	Columna 1	9,76	14	82,40	11,84
	Columna 2	8,94	14	82,40	10,85
	Viga 1	9,25	14	82,40	11,23
	Viga 2	9,22	14	82,40	11,19
Obra 8	Zapata 1	10,38	28	100,00	10,38
	Zapata 2	10,55	28	100,00	10,55
Bodega almacén singani	Columna 1	10,08	28	100,00	10,08
	Columna 2	9,88	28	100,00	9,88
	Viga 1	9,92	28	100,00	9,92

	Viga 2	10,14	28	100,00	10,14
Obra 9	Zapata 1	8,35	28	100,00	8,35
	Zapata 2	8,14	28	100,00	8,14
Curandera San Blas	Columna 1	7,3	28	100,00	7,30
	Columna 2	7,66	28	100,00	7,66
	Viga 1	8,1	28	100,00	8,10
	Viga 2	7,84	28	100,00	7,84
Obra 10	Zapata 1	8,11	28	100,00	8,11
	Zapata 2	8,84	28	100,00	8,84
Casa pequeña junto PTA San Blas	Columna 1	7,77	28	100,00	7,77
	Columna 2	7,9	28	100,00	7,90
Blas	Viga 1	7,42	28	100,00	7,42
	Viga 2	7,12	28	100,00	7,12

Tabla 12 Resistencias obtenidas en laboratorio y proyecciones

Para apreciar de manera clara estos resultados se colocan en una gráfica de distribución de frecuencias.

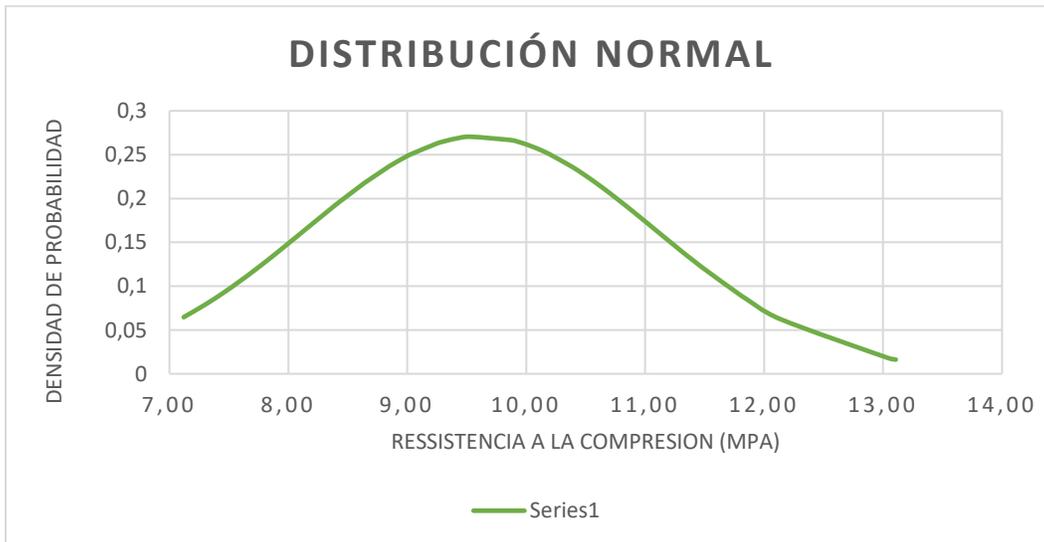


Tabla 13 Distribución normal de proyección a los 28 días

4.1.1 Resistencia media.

Para el cálculo de la resistencia media se debe de aplicar la siguiente formula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{1}{n} \sum X_i = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{60} X_1}{60} = \frac{1}{60} * (11.47 + 11.8 + \dots + 7.12)$$

$$\bar{X} = 9.61 \text{ MPa}$$

$$\bar{X}_{Zapata} = \frac{\sum_{i=1}^{20} X_1}{20} = \frac{1}{20} * (11.47 + 10.95 + \dots + 12.14)$$

$$\bar{X}_{Zapata} = 9.61 \text{ MPa}$$

$$\bar{X}_{Vigas} = \frac{\sum_{i=1}^{20} X_1}{20} = \frac{1}{20} * (7.65 + 7.52 + \dots + 10.10)$$

$$\bar{X}_{Vigas} = 9.22 \text{ MPa}$$

$$\bar{X}_{Columnas} = \frac{\sum_{i=1}^{20} X_1}{20} = \frac{1}{20} * (7.46 + 7.67 + \dots + 7.77)$$

$$\bar{X}_{Columnas} = 9.18 \text{ MPa}$$

Donde Xi es el resultado de la i-ésima prueba de resistencia, es decir, el promedio de al menos dos cilindros de prueba de concreto de 6 x 12 pulgadas. X2 es el segundo resultado de la prueba de resistencia, X3 es el tercero, y así sucesivamente. ΣXi es la suma de todos los resultados de las pruebas de resistencia, y n es el número de pruebas en el registro.

Para expresar con claridad los valores obtenidos en laboratorio se obtuvieron los valores medios de la resistencia de cada elemento estructural a analizar así como del total de las muestras.

Elemento estructural	Resistencia (MPa)
Zapatas	10,44
Vigas	9,22
Columnas	9,18
General	9,61

Tabla 14 Resistencia media a la compresión

4.1.2 Desviación estándar.

El cálculo de la desviación estándar fue realizado utilizando la ecuación mostrada a continuación, la cual fue presentada previamente.

$$s = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{60} X_i^2 - 60 * 9.61^2}{60 - 1}}$$

$$s = 1.472$$

Donde s es la desviación estándar de la muestra; n es el número de resultados de pruebas de resistencia en el registro; X es la media de la muestra, o el resultado promedio de las pruebas de resistencia; y $\sum X$ es la suma de los resultados de las pruebas de resistencia.

4.1.3 Coefficiente de variación.

$$V = \frac{s}{\bar{X}} \times 100$$

$$V = \frac{1.472}{9.61} * 100$$

$$V = 15.31 \%$$

Donde V es el coeficiente de variación, s es la desviación estándar de la muestra y X es el resultado promedio de las pruebas de resistencia.

El coeficiente de variación se ve menos afectado por la magnitud del nivel de resistencia, por lo tanto, es más útil que la desviación estándar para comparar el grado de control en un amplio rango de resistencias a la compresión.

Además del cálculo de la media es necesario calcular la desviación estándar, coeficiente de variación y el rango de variación de la manera explicada previamente en este documento, obteniendo los siguientes resultados:

4.1.4 Resumen de cálculos.

Desviación estándar:	1,472	
Coeficiente de variación:	15,31	%
Rango de variación:	5,99	MPa

Tabla 15 Variación de la resistencia a la compresión



Tabla 16 Comparativa por elemento

De la información recopilada de los trabajadores en las distintas obras en las que se recopilaron las muestras, fue posible evidenciar que al momento de dosificar el hormigón es una constante el uso general de la dosificación 1:2:3 para cualquier elemento estructural, significa que por cada parte de cemento, se deben añadir dos partes de arena y tres partes de

grava, siendo la única variación de este, la elaboración de zapatas en las que se tiende a utilizar agregado grueso de mayor tamaño, pero aun así manteniendo la misma dosificación.

En la totalidad de las obras en las que se tomaron muestras está extendido y normalizado el uso de mezcladoras de hormigón para la fabricación de cada uno de los elementos estructurales, dejando de lado la mezcla manual solo para la reparación de fisuras y la preparación de mortero.

Consultando la experiencia de estos mismos trabajadores se encontró que la totalidad de los consultados fueron capacitados de manera informal dentro de la obra, obteniendo la mayor parte de sus conocimientos de manera empírica o por enseñanza del resto del personal del lugar del trabajo, sin tener en consideración los aspectos técnicos para la dosificación del hormigón ni su elaboración.

En cuanto al curado del hormigón se encontró que no se sigue ninguna metodología estandarizada para el curado ni se respeta un tiempo de curado constante en los diferentes elementos estructurales, fue evidenciada una práctica común de esperar a que se presenten fisuras en la superficie del hormigón para comenzar con el curado del hormigón, el cual consiste en un riego de la superficie que puede ser realizado con una manguera si se dispone de la misma o con el uso de recipientes pequeños como ser jarras o baldes, el tiempo evidenciado entre riegos a los elementos de hormigón no obedece a ningún criterio aparente, se realiza de manera dispersa durante el tiempo que el personal se encuentra en el sitio de la obra.

5 Capítulo V

5.1 Conclusiones.

- Tras la toma de datos y el trabajo de gabinete se encontró que la resistencia media a compresión del hormigón es de 9.61 MPa, siendo este valor considerablemente menor a lo que se debería de obtener de una muestra de hormigón dosificado correctamente, según las indicaciones de la normativa ACI-214R-11 la resistencia media a compresión obtenida en laboratorio deberá ser mayor a la resistencia esperada en obra en un valor de 7 MPa, por lo que para esperar un hormigón de 21MPa en obra se debería de esperar que la resistencia media en laboratorio sea de al menos 28 MPa, teniendo esto en consideración es evidente que la resistencia que se obtiene en las obras es considerablemente menor a la deseada en cualquier elemento estructural. Además, se observa que la disminución de la resistencia es aún mayor que el 30% inicialmente estimado, lo que indica que la falta de capacitación y supervisión técnica tiene un impacto más crítico en la calidad del hormigón, es notable que por la diferencia en la elaboración del hormigón para las zapatas la resistencia media obtenida es de 10.44MPa lo cual es ligeramente superior a la media del resto de elementos estructurales con, siendo la resistencia media en vigas 9.22MPa y para columnas 9.18MPa.
- En cuanto al personal consultado durante la toma de muestras pudo evidenciarse que la capacitación que poseen es del tipo informal, sin tener un conocimiento adecuado de buenas prácticas para el manejo y almacenamiento del material, para la dosificación del hormigón siguen una misma dosificación de agregados y cemento sin tener en cuenta las características de los mismos y utilizando una cantidad de agua a criterio propio sin ningún tipo de medición o control, esto hace que no sea posible alcanzar una resistencia específica de manera constante.
- La elaboración del hormigón tiene como constante el uso de la dosificación 1:2:3, para realizar esta se toma como medida de unidad el volumen de baldes llenos de material que son depositados en la mezcladora, en cuanto a la cantidad de agua utilizada en la mezcla esta obedece al criterio propio del personal sin tomar en cuenta ningún criterio de resistencia más que la trabajabilidad del mismo, se tiende a buscar que el hormigón preparado para las zapatas tenga una menor cantidad de agua para

aumentar la resistencia, tras el vaciado de hormigón se evidencia la ausencia del uso de vibradores en los elementos estructurales, en su lugar se tiende a utilizar varillas de acero corrugado para el punzonamiento de la mezcla en conjunto con un golpeteo al encofrado con el uso de martillos.

- El curado del hormigón en los elementos estructurales presenta varias deficiencias, este no es realizado en un intervalo de tiempo constante, las técnicas de curado utilizadas pueden llegar a ser adecuadas si están fueran realizadas en un intervalo fijo, en lugar de esto son realizadas de manera esporádica sin obedecer algún criterio, siendo el curado totalmente obviado en elementos como las zapatas en varias de las obras estudiadas.
- Al realizar los ensayos de resistencia a la compresión en la prensa hidráulica se evidencio que la rotura de las probetas ocurre con una fisuración completamente vertical en la pieza lo cual indica que las probetas fueron realizadas de manera adecuada y se comporta como un elemento homogéneo.⁵
- Tras el análisis de los valores de resistencia a compresión se determinó que el conjunto de valores obtenidos tiene una desviación estándar de 1.472, esto indica una variabilidad moderada en los resultados e indica que el hormigón elaborado por mano de obra no calificada en la ciudad de Tarija tiende a tener una resistencia similar.
- El rango de variación obtenido es de 5.99MPa, el cual representa la diferencia entre el mayor valor de resistencia y el menor, por indicaciones de la norma ACI-318-214R se conoce que el rango de variación es esperado en un conjunto de datos será de alrededor de 7MPA por lo que los resultados de los ensayos son ligeramente más consistentes de lo esperado.
- Conociendo el valor de la resistencia media a compresión, es posible, hacer un análisis rápido de las condiciones de seguridad de obras en las que se desconoce la capacitación de la mano de obra empleada.

⁵ Ver anexos 8 y 9, Probetas tras la finalización del ensayo

5.2 Recomendaciones.

- Capacitación de la mano de obra: dada la evidente falta de capacitación técnica se recomienda que se tomen medidas para que el personal de obra tenga conocimiento técnico suficiente para seguir una dosificación adecuada determinada previamente de acuerdo a los materiales a utilizar, junto con la capacidad para la elaboración adecuada del hormigón, tomando en cuenta la mezcla, colocado y vibrado adecuado.
- Uso de materiales: Se recomienda seleccionar bancos de materiales para los agregados los cuales sean constantes en la elaboración de la obra, teniendo el conocimiento de las características de los agregados es posible alcanzar una mayor resistencia a la compresión, al mantener el uso de agregados del mismo banco es posible utilizar la misma dosificación garantizando que la resistencia alcanzada este en un rango conocido.
- Curado del hormigón: Se recomienda realizar el curado del hormigón en un intervalo de tiempo fijo, siguiendo las técnicas adecuadas como puede ser la del regado de la superficie, en lo posible de asignarse personal fijo que se encargue de esta tarea.
- Colocado del hormigón: Se recomienda mantener un procedimiento fijo en el cual se indiquen las practicas correctas para el colocado y vibrado de los diferentes elementos estructurales.
- Supervisión técnica: se recomienda tener personal con mayor grado de capacitación que lleve un control riguroso y asegure que se cumplan los procesos adecuados de dosificación, elaboración, colocado y curado del hormigón en la obra.
- Evaluación de obras: se recomienda tomar en cuenta los valores obtenidos de esta investigación para evaluar obras en las que se desconozca la calidad de los materiales y el cuidado en el proceso constructivo seguido durante ejecución de las obras.
- Programas de Capacitación Técnica Continua: Se recomienda como alternativa efectiva para elevar el nivel de la mano de obra la implementación de programas regulares de capacitación técnica en institutos técnicos locales y programas de estudio en las universidades.