# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

# ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS**


**ELVIS LEONARDO LÓPEZ RAMÓN**

leo_wind@live.com

**JORGE LUIS MANOBANDA LISINTUÑA**

luismh888@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. MARIA BELÉN CORREA VALLEJO M.Sc.**

maría.corream@epn.edu.ec

**CO-DIRECTOR: Phd. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRIGUEZ**

luis.hernandezr@epn.edu.ec



**QUITO, NOVIEMBRE 2019**

# DECLARACIÓN

Nosotros, **ELVIS LEONARDO LÓPEZ RAMÓM** y **JORGE LUIS MANOBANDA LISINTUÑA**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____ _____

**ELVIS LEONARDO LÓPEZ RAMÓN** **JORGE LUIS MANOBANDA LISINTUÑA**

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **ELVIS LEONARDO LÓPEZ RAMÓM** y **JORGE LUIS MANOBANDA LISINTUÑA**, bajo mi supervisión.

_____

**ING. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO M.Sc.**
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

# AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa de mi vida debo agradecer a todos aquellos quienes han caminado conmigo e hicieron posible esto: mamita muchas gracias por todo su amor y apoyo incondicional, esta vida será poco para agradecerle todo lo que ha hecho por mí, a mi hermana por ser mi motor de lucha.

A mis tíos, en especial a Edgar y Silvia quienes siempre me han alentado a culminar mis estudios y son un gran ejemplo de superación y perseverancia.

A mis queridas primas Sofía y Dejanira, muchas gracias por estar ahí para mí cuando más lo he necesitado, y haberme permitido ser parte de su familia.

A mi compañero de tesis Luchito, por haberme extendido la mano, haber confiado en mí para este gran proyecto y sobre todo por haberme alentado cuando ya no había fuerzas, eres una gran persona y un gran compañero.

También como no agradecer a la familia que elegimos y que junto a ellos el camino se vuelve más fácil: Michelle J., Erika R., Makarena M., Lenin C., Vinicio J., Katherine GP, Dennis E., Adrián P., Efraín C., Sofía C., Vanessa I., Esteban R., Paty N., Rita C., Katherine E., gracias infinitas.

A Lichita “empezamos juntos la etapa universitaria y de la misma forma la culminamos” (Yanez L. 2019), no sabes cuánto te adoro amiguita eres una gran persona y gracias de verdad por estar ahí para mí siempre.

A Mauricio, tu amistad ha traído grandes momentos en mi vida y has estado ahí contra viento y marea apoyándome, sin duda, Dios me regalo un hermano que quiero y admiro.

A Tania, tus locuras han traído felicidad a mi vida y han complementado mi vida, gracias por ser parte de esta aventura.

A finalmente a las personas que me ayudaron a formarme como profesional durante estos años, a mis profesores, muchas gracias por haberme dado lecciones de vida,

haberme exigido y haber creído en mí y a la Grandiosa ESCUELA POLITECNICA NACIONAL.

*ELVIS*

# AGRADECIMIENTO

Mi gran agradecimiento a Dios por darme vida, salud y las fuerzas para lograr esta etapa de mi vida junto a todos mis seres queridos.

A mis padres, Jorge y Elena que, gracias a todos sus sacrificios y amor he podido culminar mis estudios.

A mis hermanos, Víctor y Fernanda por todos los momentos vividos que fueron, son y serán únicos e irremplazables los amo mucho.

A mi tía Elena, que siempre formo parte de nuestra familia desde muy pequeños nos cuidaba, protegía y consentía; ganándose de esta manera mi amor y respeto.

Gracias a *MEMEL*: Michelle, Erika, Maka, Elvis y Lenin, el formar parte de su grupo me permitió compartir y experimentar una amistad verdadera. Sobre todo, quiero agradecer de manera especial a mi compañero de tesis y gran amigo Elvis que sin su ayuda y esfuerzo no hubiera podido terminar a tiempo este proyecto.

Les agradezco a mis mejores amigos por siempre apoyarme con un consejo, por celebrar mis triunfos y por cuidarme en los momentos más difíciles que he tenido que afrontar, gracias Negrito, Willi, Crispito, Cinti y Kathy todos los momentos vividos a su lado los atesorare como uno de mis más gratos recuerdos y los llevare por siempre en mi corazón.

De la misma manera quiero agradecer a Sandrita y Carmencita que en el transcurso de este proyecto supieron escucharme y brindarme palabras de aliento.

Por último, quiero agradecer a todos los que conforman la Escuela Politécnica Nacional, a mis maestros por compartir sus conocimientos en todo este tiempo en especial a la Ing. María Belén Correa y al Ing. Diego Sosa por apoyarnos en este proyecto; al CIV y LEMSUR por permitirnos desarrollar la parte experimental de este proyecto en sus instalaciones.

LUCHITO

# DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación en primer lugar a Dios, quien nunca me ha desamparado, quien me ha regalado cada día una nueva oportunidad de vivir, aprender y mejorar.

A mis dos motivos de vida que siempre han creído en mí, aun cuando nadie más lo hizo, mi madre Norma Ramón: Una mujer luchadora, valiente, un gran ejemplo de honestidad y sobre todo integridad. Y a mi hermanita Brissia López que aunque gran parte de nuestras vidas crecimos separados día a día ha llenado mi vida de felicidad solo al verla sonreír.

A mis tíos Rosa López y Hermel Herrera por quienes siento un profundo respeto y admiración, muchas gracias por apoyarme incondicionalmente en esta travesía y haberme acogido en su hogar.

También quiero dedicar este proyecto de investigación a una mujer digna de admiración, mi *mamita* ELVIA, gracias por sus concejos de vida, siempre la llevo en mi corazón.

Y por último a Mauricio Quimuña**,** mi hermano de vida, quien ha compartido con migo este largo camino en las buenas y en las malas, gracias por tus acertadas palabras y ayuda en los momentos precisos, mi respeto y admiración.

*ELVIS*

# DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mis padres Jorge y Elena quienes me enseñaron que el amor existe, gracias por cada noche preocuparse por mí, por brindarme un techo donde vivir, por poner mis necesidades en primer lugar pese a las suyas, por reprenderme ponerme limitantes y hacerme entender que siempre fue por mi bien, por seguir confiando en mi después de haberles fallado, por brindarme una sonrisa y un plato de comida cada noche pese a que estaban exhaustos y cansados de sus trabajos, por educarme en un ambiente lleno de respeto, confianza y sobre todo por brindarme una familia unida con unos padres que luchan cada día por sacar adelante a la familia y mantenerse unidos.

Por esto y muchas cosas más, este trabajo es dedicado para ustedes los amo, siempre serán mi motor el cual me impulsa a perseguir mis sueños y alcanzarlos.

LUCHITO

# CONTENIDO

DECLARATORIA……I

CERTIFICACIÓN……II

AGRADECIMIENTOS……III

DEDICATORIAS……VI

CONTENIDO……VIII

INDICE DE TABLAS……XII

INDICE DE FIGURAS……XV

INDICE DE FOTOS……XVIII

RESUMEN……XIX

ABSTRACT……XXI

PRESENTACIÓN……XXIII

CAPÍTULO I……1

1.1 ANTECEDENTES……1

1.2 OBJETIVOS……2

1.2.1 OBJETIVO GENERAL……2

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS……2

1.3 JUSTIFICACIÓN……3

1.4 ALCANCE……4

CAPÍTULO II……5

2.1 MATERIALES CONSTITUYENTES DE LA MAMPOSTERÍA……5

2.1.1 BLOQUE INOVA TK……5

2.1.2 MORTERO DE PEGA ..... 11
2.1.3 HORMIGON LIQUIDO O GROUT ..... 20
2.2 PROPIEDADES DE LA MAMPOSTERÍA……26
2.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($fm'$)..... 27
2.2.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD ($Em$) ..... 33
2.2.3 MÓDULO DE RIGIDEZ A CORTE ($Gm$) ..... 34
2.3 NORMATIVA NEC-SE-MP MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL……38
2.4 NORMATIVA BUILDING CODE REQUIREMENTS AND SPECIFICATION FOR MASONRY STRUCURES……39
2.5 MODELOS ANALÍTICOS……40
2.5.1 MODELO ANALÍTICO DE HILSDORF PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA ..... 40
2.5.2 MODELO ANALÍTICO DE PRIESTLEY M. Y ELDER D. PARA DETERMINAR LAS CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN ..... 52
2.6 DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE ESPECIMENES A ENSAYAR……..59
2.7 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS EXPERIMENTALES……..60
CAPÍTULO III ..... 63
3.1 ENSAYOS INDIvIDUALES……..63
3.1.1 ENSAYO DE BLOQUE INOVA TK ..... 63
3.1.2 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES QUE CONSTITUYEN EL MORTERO DE PEGA Y GROUT. ..... 68
3.1.3 ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE MORTERO DE PEGA…… ..... 76
3.1.4 ENSAYO A COMPRESIÓN DE PRISMAS DE HORMIGÓN LÍQUIDO O GROUT ..... 79
3.2 ENSAYOS DE PRISMAS Y MURETES……..……82

3.2.1 ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESIÓN .....83
3.2.2 ENSAYO DE MURETES A COMPRESIÓN .....86
3.2.3 ENSAYO DE MURETES A TENSIÓN DIAGONAL.....90
3.3 TIPO DE FALLA DE PRISMAS Y MURETES……..92
CAPÍTULO IV .....96
4.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MURETES Y PRISMAS-ETAPA EXPERIMENTAL……96
4.2 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA- ETAPA EXPERIMENTAL……97
4.2.1 CORRECCIÓN DE LAS CURVAS CARGA VS DESPLAZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA .....97
4.2.2 CURVAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA DE LA MAMPOSTERÍA.....102
4.2.3 MóDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL DE LA MAMPOSTERÍA.....105
4.3 MODELOS ANALÍTICOS……..107
4.3.1 MODELO DE HILSDORF PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA.....107
4.3.2 AJUSTE DEL MODELO DE HILSDORF PARA LA MAMPOSTERÍA INOVA TK .....108
4.3.3 MODELO PROPUESTO PARA OBTENER LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA DE PRIESTLEY M. Y ELDER D. PARA LA MAMPOSTERÍA. .....109
4.3.4 MóDULO DE ELASTICIDAD SECANTE DE LA MAMPOSTERÍA SEGÚN LA CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA BASADO EN LA METODOLOGÍA DE PRIESTLEY M. Y ELDER D PARA MAMPOSTERÍA.....111

CAPÍTULO V .....114

5.1 CONCLUSIONES……114

5.2 RECOMENDACIONES……..117

REFERECIAS BIBLIOGRÁFICAS……..119

ANEXOS……..124

# ÍNDICE DE TABLAS

**TABLA 2-1:** RESISTENCIA MÍNIMA A COMPRESIÓN EN BLOQUES DE HORMIGÓN ..... 8
**TABLA 2-2:** CLASIFICACIÓN SEGÚN SU USO ..... 8
**TABLA 2-3:** CLASIFICACIÓN SEGÚN SU DENSIDAD ..... 8
**TABLA 2-4:** DIMENSIONES MODULARES ..... 9
**TABLA 2-5:** ESPESORES MÍNIMOS DE TABIQUES Y PAREDES PARA BLOQUES CLASE A ..... 9
**TABLA 2-6:** ABSORCIÓN MÁXIMA DE BLOQUES CLASE A ..... 10
**TABLA 2-7:** TIPOS DE MORTERO SEGÚN SU USO ..... 12
**TABLA 2-8:** GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE MORTEROS DE MAMPOSTERÍA ..... 13
**TABLA 2-9:** ESPECIFICACIÓN POR PROPIEDADES. REQUISITOS ..... 13
**TABLA 2-10:** ESPECIFICACIÓN POR DOSIFICACIÓN. REQUISITOS ..... 14
**TABLA 2-11:** MATERIALES CEMENTANTES ..... 15
**TABLA 2-12:** LIMITES GRANULOMÉTRICOS DEL ÁRIDO PARA USO EN MORTERO PARA MAMPOSTERÍA ..... 16
**TABLA 2-13:** MORTEROS DE RELLENO - PARTES POR VOLUMEN ..... 21
**TABLA 2-14:** CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO SEGÚN EL TAMAÑO ..... 22
**TABLA 2-15**: GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS GRUESOS ..... 22
**TABLA 2-16:** GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS ..... 23
**TABLA 2-17** RELACIÓN AGUA/CEMENTO RECOMENDADA PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE ..... 24
**TABLA 2-18:** FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ PARA PRISMAS Y MURETES ..... 30
**TABLA 2-19:** COEFICIENTE DE CONFINAMIENTO PROPUESTO POR OHLER ..... 43
**TABLA 2-20:** PROPIEDADES DE LOS MATERIALES ..... 54

**TABLA 2-21:** DETALLE DE LOS ENSAYOS DE LOS PRISMAS .....55
**TABLA 2-22**: NIVELES DE CONFIANZA α .....60
**TABLA 2-23:** NIVELES DE CONFIANZA β .....60
**TABLA 3-1:** DIMENSIONES REALES DEL BLOQUE .....63
**TABLA 3-2:** DIMENSIONES MODULARES Y NOMINALES DEL BLOQUE .....64
**TABLA 3-3:** DATOS DEL ENSAYO ABSORCIÓN Y DENSIDAD DE LOS BLOQUES .....64
**TABLA 3-4:** RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD .....65
**TABLA 3-5:** ÁREA NETA PROMEDIO DEL BLOQUE INOVA TK (An) .....65
**TABLA 3-6:** CARGA MÁXIMA PROMEDIO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES (Pm) .....67
**TABLA 3-7:** RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL .....67
**TABLA 3-8:** DENSIDAD APARENTE DEL CEMENTO HOLCIM TIPO GU .....68
**TABLA 3-9:** CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA NO LAVADA .....70
**TABLA 3-10** PARÁMETROS FÍSICOS DE LA ARENA NO LAVADA .....72
**TABLA 3-11:** CURVA GRANULOMÉTRICA DEL RIPIO #8 .....74
**TABLA 3-12:** PARÁMETROS FÍSICOS DEL RIPIO #8 .....75
**TABLA 3-13:** ENSAYO DE FLUIDEZ .....76
**TABLA 3-14:** RESISTENCIA MÁXIMA A COMPRESIÓN DE MORTEROS (fj′) .....78
**TABLA 3-15:** ASENTAMIENTOS COMO PARÁMETRO DE CONTROL DEL GROUT .....79
**TABLA 3-16:** RESISTENCIA MÁXIMA A COMPRESIÓN DE LOS PRISMAS DE GROUT fg′ .....81
**TABLA 3-17:** CARGA MÁXIMA A COMPRESIÓN DE LOS PRISMAS .....85
**TABLA 3-18:** CARGA MÁXIMA A COMPRESIÓN DE LOS MURETES .....88
**TABLA 4-1:** MEDIA DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EXPERIMENTAL CORREGIDA DE PRISMAS Y MURETES .....96
**TABLA 4-2:** RESISTENCIA A COMPRESIÓN ESPECÍFICA DE LA MAMPOSTERÍA .....97
**TABLA 4-3** CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA PRISMAS .....105

**TABLA 4-4** CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE PARA MURETES.....106
**TABLA 4-5:** ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA - HILSDORF .....107
**TABLA 4-6:** ERROR PORCENTUAL DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN .108
**TABLA 4-7:** AJUSTE DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MÉTODO DE HILSDORF .....109
**TABLA 4-8:** CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE PARA PRISMAS .....112
**TABLA 4-9:** RESUMEN DE LA OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE. .....113

# ÍNDICE DE FIGURAS

**FIGURA 2-1:** GEOMETRÍA DEL BLOQUE INOVA TK.....5
**FIGURA 2-2:** ACOPLE DE LOS BLOQUES INOVA TK.....6
**FIGURA 2-3:** DIMESIONES DEL BLOQUE INOVA TK.....6
**FIGURA 2-4:** NOMENCLATURA DE LAS PARTES DE UN BLOQUE DE HORMIGÓN.....10
**FIGURA 2-5:** LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DEL ÁRIDO PARA USO EN MORTERO PARA MAMPOSTERÍA.....16
**FIGURA 2-6:** ENSAYO DE FLUIDEZ.....19
**FIGURA 2-7:** DIFERENTES ASENTAMIENTOS TÍPICOS.....21
**FIGURA 2-8:** DIMENSIONES DE LOS PRISMAS.....29
**FIGURA 2-9:** DIMENSIONES DEL MURETE.....30
**FIGURA 2-10:** UBICACIÓN DE LOS LVDTs EN LOS PRISMAS.....32
**FIGURA 2-11:** UBICACIÓN DE LOS LVDTS EN LOS MURETES.....32
**FIGURA 2-12:** OBTENCIÓN DEL Em.....33
**FIGURA 2-13:** MODOS DE FALLA DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A CARGA DE COMPRESIÓN DIAGONAL.....34
**FIGURA 2-14:** DIMENSIONES DE LOS MURETES A TENSION DIAGONAL.....35
**FIGURA 2-15:** UBICACIÓN DE LOS LVDTS EN LOS MURETES A TENSIÓN DIAGONAL.....36
**FIGURA 2-16:** CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN TÍPICA DE MORTERO, BLOQUE Y MAMPOSTERÍA.....44
**FIGURA 2-17:** PRISMAS DE MAMPOSTERÍA.....44
**FIGURA 2-18:** DEFORMACIONES LATERALES DEL BLOQUE, MORTERO Y MAMPOSTERÍA.....45
**FIGURA 2-19:** ESTADO DE ESFUERZOS DEL BLOQUE Y EL MORTERO CUANDO LA RESISTENCIA DEL MORTERO ES MENOR QUE EL BLOQUE.....45
**FIGURA 2-20:** FALLA TÍPICA POR TRACCIÓN LATERAL.....46

**FIGURA 2-21:** DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS LATERALES ASUMIDOS POR HILSDORF .....47
**FIGURA 2-22:** CRITERIO DE FALLA DE LA MAMPOSTERÍA SEGÚN HILSDORF .....49
**FIGURA 2-23:** DIMENSIONES DE LOS PRISMAS (mm) .....53
**FIGURA 2-24:** PLACAS DE CONFINAMIENTO DE LAS JUNTAS DEL MORTERO (mm) .....54
**FIGURA 2-25:** CURVA PROMEDIO ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA SERIE 1 PARA BAJA Y ALTA VELOCIDAD DE CARGA. .....56
**FIGURA 2-26:** CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN (KENT Y PARK).....57
**FIGURA 3-1:** CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA NO LAVADA PARA MORTERO.....70
**FIGURA 3-2:** CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA NO LAVADA PARA HORMIGÓN LÍQUIDO.....73
**FIGURA 3-3:** CURVA GRANULOMÉTRICA DEL RIPIO #8 PARA EL HORMIGÓN LÍQUIDO.....75
**FIGURA 3-4:** ESQUEMA DE PROBETAS PARA GROUT .....80
**FIGURA 3-5:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL LVDT 1 PARA PRISMAS.....85
**FIGURA 3-6** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL LVDT 3 PARA PRISMAS.....86
**FIGURA 3-7:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL LVDT 1 PARA MURETES.....89
**FIGURA 3-8:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL LVDT 3 PARA MURETES.....90
**FIGURA 3-9:** FALLA TIPICA DE LOS PRISMAS .....93
**FIGURA 3-10:** FALLA TÍPICA DE LOS MURETES.....94
**FIGURA 3-11:** FALLA DE MURETES A TENSIÓN DIAGONAL .....95
**FIGURA 4-1:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL PRISMA P-2.....98
**FIGURA 4-2:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL PRISMA P-2.....100

**FIGURA 4-3:** CURVAS CARGA VS DESPLAZAMIENTO DE PRISMAS.....101
**FIGURA 4-4:** CURVAS CARGA VS DESPLAZAMIENTO DE MURETES .....101
**FIGURA 4-5:** CURVAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PRISMAS.....102
**FIGURA 4-6:** CURVAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE MURETES .....103
**FIGURA 4-7:** CURVA REPRESENTATIVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA PRISMAS .....104
**FIGURA 4-8** CURVA REPRESENTATIVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA MURETES .....104
**FIGURA 4-9:** OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA PRISMAS .....105
**FIGURA 4-10**: OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE PARA MURETES .....106
**FIGURA 4-11:** MODELO DE PRIESTLEY Y ELDER PARA PRISMAS .....110
**FIGURA 4-12:** OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE PARA PRISMAS SEGÚN PRIESTLEY M. Y ELDER D.....112

# ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

**FOTOGRAFÍA 3-1:** REFRENTADO DE LOS BLOQUES .....66
**FOTOGRAFÍA 3-2:** ENSAYO DE COMPRESIÓN.....66
**FOTOGRAFÍA 3-3:** ENSAYO DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO TIPO GU ..69
**FOTOGRAFÍA 3-4:** ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE LA ARENA NO LAVADA .....71
**FOTOGRAFÍA 3-5:** ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ARENA NO LAVADA.....72
**FOTOGRAFÍA 3-6:** ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE DEL ARENA NO LAVADA .....72
**FOTOGRAFÍA 3-7:** ENSAYO DE FLUIDEZ .....77
**FOTOGRAFÍA 3-8:** CILINDROS DE MORTERO DE PEGA CON DIFERENTES DOSIFICACIONES .....77
**FOTOGRAFÍA 3-9:** ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE MORTERO DE PEGA .....78
**FOTOGRAFÍA 3-10:** ENSAYO DE ASENTAMIENTO (CONO DE ABRAMS) .....80
**FOTOGRAFÍA 3-11:** ENSAYO A COMPRESIÓN DE PRISMAS DE GROUT.....81
**FOTOGRAFÍA 3-12:** REFRENTADO DE PRISMAS .....83
**FOTOGRAFÍA 3-13:** UBICACIÓN DE LAS PLACAS Y LVDTs .....84
**FOTOGRAFÍA 3-14:** REFRENTADO DE MURETES.....87
**FOTOGRAFÍA 3-15:** INSTRUMENTACIÓN DE MURETES .....87
**FOTOGRAFÍA 3-16** REFRENTADO DE LOS MURETES A TENSIÓN DIAGONAL.....91
**FOTOGRAFÍA 3-17** FALLA PRESENTADA EN LOS MURETES.....92

# RESUMEN

La presente investigación se centra en el estudio experimental y analítico de las propiedades mecánicas de la mampostería como: resistencia a compresión ($f'_m$), módulo de elasticidad secante ($E_m$) y módulo de corte ($G_m$), utilizando el bloque propuesto por la empresa Inova Tk, el bloque presenta muescas en la parte superior y posterior, permitiendo así un acople de los bloques de hormigón tipo lego, además, cuenta con ductos verticales y horizontales que permiten la distribución tanto del acero de refuerzo como de las diferentes instalaciones hidrosanitarias y eléctricas. Estos parámetros son necesarios para el desarrollo del proyecto "VIVIENDA INOVA TK" impulsado por dicha empresa.

Para obtener los parámetros básicos expuestos en el párrafo precedido mediante la fase experimental, en esta investigación se ensayaron seis muretes y seis prismas implementados con tres transductores de desplazamiento (LVDTs) necesarios para medir las deformaciones provocadas por una fuerza que actúa en el eje vertical de la probeta y que aumenta linealmente hasta su ruptura. Las probetas fueron construidas con materiales y mano de obra otorgados por la empresa, replicando así las condiciones verdaderas en las cuales se empleará el bloque Inova Tk. Mientras que en la fase analítica se empleó el modelo analítico de HILSDORF parara determinar la resistencia a compresión de la mampostería y el modelo analítico de PRIESTLEY y ELDER para obtener el módulo de elasticidad secante.

Los resultados obtenidos una vez concluida la fase experimental, con respecto al bloque mostraron que tiene una baja capacidad de resistencia a esfuerzos de compresión, además, las muescas no representan un aporte sustancial a la resistencia a corte.

Al comparar cualitativamente los parámetros mecánicos obtenidos experimentalmente con los modelos analíticos de la mampostería, se determinó que el modelo de Hilsdorf no predice el comportamiento real de esta mampostería, así también el modelo de Priestley y Elder no es aplicable a mamposterías constituidas

por elementos de baja resistencia, en consecuencia, fue necesario realizar un ajuste a estos modelos.

# ABSTRACT

The present research focuses on the experimental and analytical study of masonry's mechanical properties, such as Compressive Strength ($f'_m$), Elasticity Secant Modulus ($E_m$) and Shear Modulus ($G_m$), implementing the block proposed by the Inova Tk construction company, the block has notches on the top and back, allowing its union in the form of a lego, in addition, it has vertical and horizontal ducts which allow the distribution of reinforcing steel and the different hydrosanitary and electrical installations. These parameters are necessary for the development of the "INOVA TK APARTMENT" project promoted by the company previously mention.

To obtain the mechanical parameters set forth in the previous paragraph through the experimental phase, six masonry assemblages and six prisms implemented with three Linear Variable Differential Transformer (LVDT), were tested. This samples were needed to measure the deformations due to a force acting on the vertical axis of the specimen and that increases linearly until its failure. The specimens were built with materials and workmanship granted by the company, aiming to replicate same conditions that Inova Tk block will be used. Whereas in the analytical phase, the HILSDORF analytical model was used to determine the masonry compressive strength and the PRIESTLEY and ELDER analytical model to obtain the elasticity secant modulus.

The results obtained at the end of the experimental phase, in the subject of the block, showed that it has a low capacity on compressive stress resistance, in addition, the notches do not represent a substantial contribution to the shear strength.

Comparing qualitatively the mechanical parameters obtained experimentally with the analytical models of the masonry, it was determined that the Hilsdorf model does not predict the real masonry behavior, so also the Priestley and Elder model is not applicable to masonry that are acquiesced with low resistance elements. Consequently, it was necessary to make an adjustment to these models.

# PRESENTACIÓN

El presente trabajo de titulación está organizado por los siguientes cinco capítulos:

CAPÍTULO 1: **INTRODUCCIÓN**. Se muestra los antecedentes, objetivos, justificación y alcance referentes al estudio de paredes de mampostería.

CAPÍTULO 2: **MARCO TEÓRICO**. En esta sección se detalla los materiales que conformarán la mampostería Inova Tk, las propiedades y normas que deberá cumplir la mampostería y cada uno de sus elementos. De la misma manera se detalla los modelos analíticos que se emplearán en la mampostería para obtener los parámetros mecánicos de esta.

CAPÍTULO 3: **ENSAYOS EXPERIMENTALES**. En esta sección se presentan los ensayos realizados a cada elemento constituyente de la mampostería como también del conjunto.

CAPÍTULO 4: **TRATAMIENTO DE DATOS Y MODELOS ANALÍTICOS**. En esta sección se detallan los parámetros mecánicos obtenidos mediante el ensayo experimental de las probetas, así como la obtención de los parámetros y la calibración de los modelos analíticos. Además, en este capítulo se analizan las curvas de esfuerzo-deformación de las probetas.

CAPÍTULO 5: **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**. En esta sección se presentan las conclusiones del proyecto de titulación y las recomendaciones que se pueden realizar para obtener un mejor desempeño de la mampostería utilizando el bloque Inova Tk

# CAPÍTULO I

# INTRODUCCIÓN

## 1.1 ANTECEDENTES

La mampostería es uno de los materiales más utilizados en las construcciones a lo largo de la historia, desde ladrillos constituidos por depósitos aluviales utilizados por la cultura mesopotámica, rocas esculpidas utilizadas por los pueblos incas y bloques de hielo utilizados para formar iglúes en las zonas árticas (Medina, 2001), han sido las bases para las edificaciones actuales. Hoy en día la Norma Ecuatoriana de la Construcción define a la mampostería como el "conjunto trabado de piezas asentadas con mortero" (NEC-SE-MP, 2015).

Los ladrillos sólidos y bloques huecos son las principales unidades utilizadas en la mampostería actualmente, variando sus propiedades mecánicas dependiendo de su constitución. El parámetro principal que caracteriza al bloque es su resistencia a compresión, de este dependerá si la mampostería debe reforzarse, mediante varillas de acero, perfiles metálicos o mediante un confinamiento para mejorar su capacidad de resistencia según las solicitaciones de la edificación (A. Martínez, 2009).

La mampostería al ser un material no homogéneo compuesto por una pieza prismática y mortero presenta un comportamiento mecánico muy diverso debido a sus propiedades mecánicas únicas, lo cual impide definir una teoría exacta para el comportamiento de la mampostería bajo esfuerzos o solicitaciones. Por lo tanto, para estudiar sus propiedades mecánicas básicas es necesario realizar ensayos experimentales en probetas a escala natural o representativa (Tena Colunga & Miranda, 2003). Sin embargo, no siempre esto es posible conllevando a algunos investigadores a determinar formulas empíricas basadas en las propiedades mecánicas de sus componentes.

Investigadores como Hendry y Malek, Mehlmann y Oppermana, Shi Chuxian determinaron un modelo basado únicamente en la resistencia a compresión del

bloque y la resistencia a compresión del mortero (Crisafulli, 1997), mientras que, kirtsching, S. tomó como parámetros la resistencia a compresión del bloque y el módulo de elasticidad secante del mortero, esto refleja que cada modelo empírico determinado es válido únicamente para materiales bajo las mismas condiciones en las que fueron obtenidas.

De manera general, en las investigaciones revisadas, como las realizadas por Flores, A. en 2010, Pachano, F. en 2018 y Crisafulli, F. en 1997, los modelos analíticos no se ajustan a su perfección a nuevos elementos con capacidades mecánicas diferentes, reflejado al comparar los resultados con la fase experimental, por lo cual, es necesario un ajuste de cada modelo para las nuevas condiciones de estudio que permita llegar a resultados confiables.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las propiedades intrínsecas de la mampostería, constituida con el bloque propuesto por la empresa INOVA TK, mediante ensayos experimentales y modelos analíticos propuesto por Hubert K. Hilsdorf, M.J.N Priestley y D.M. Elder, propiedades necesarias para el desarrollo del proyecto “VIVIENDA INOVA TK”.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades física-mecánicas del bloque INOVA TK, mortero de pega, hormigón líquido o grout, mediante ensayos de laboratorio, criterios necesarios para comprender la calidad del bloque y elementos.
- Definir el módulo de elasticidad secante, resistencia a compresión y curva esfuerzo-deformación de la mampostería estructural, mediante ensayos técnico-experimentales y modelos analíticos de Hubert K. Hilsdorf, M.J.N Priestley y D.M. Elder.
- Estudiar, comparar y ajustar la respuesta de cada modelo analítico mediante la fase experimental desarrollada.

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

En Ecuador gran parte de las construcciones son informales, según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional cerca del 70% de las construcciones son informales (Instituto Geofísico, 2011) y esto quedó al descubierto ante el evento sísmico del 16 de abril de 2016 en donde, tan solo en Pedernales el 70% de la infraestructura presenta daños graves en las fachadas, divisiones internas y estabilidad física (Telégrafo, 2016). Por lo tanto, es necesario plantear alternativas que satisfagan las necesidades de una vivienda económica y sobre todo segura, tal como lo plantea la empresa INOVA TK dentro de su proyecto "VIVIENDA INOVA TK".

El objetivo del proyecto "VIVIENDA INOVA TK" es validar viviendas de interés social dentro de zonas de vulnerabilidad sísmica, para lo cual se debe partir del estudio del bloque individual y de los parámetros intrínsecos de la mampostería estructural, bajo los criterios de diseño de la NEC-SE-MP, creada con estos bloques (Casagallo Alexander, 2017).

Este estudio aportará con una documentación técnica necesaria y fundamental para el desarrollo del proyecto "VIVIENDA INOVA TK", además de comprobar si los métodos analíticos propuestos por Hubert K. Hilsdorf, M.J.N Priestley y D.M. Elder, para determinar los parámetros intrínsecos de la mampostería, son válidos para la mampostería estructural conformada por el bloque propuesto por la empresa INOVA TK, mediante la comparación y análisis con los resultados obtenidos con la fase experimental, obteniendo así un respaldo teórico

El parámetro de control para los resultados derivados de la fase experimental será la resistencia a compresión ($f'_m$), el mismo que deberá estar entre 10,34 a 27,58 MPa como lo estipula el Building Code Requirements for Masonry Structures, Sección 9.1.9, para una mampostería estructural de concreto (MSJC, 2013).

El estudio, tanto experimental como analítico de los parámetros intrínsecos de la mampostería estructural, es básicos y necesarios para el avance del proyecto "VIVIENDA INOVA TK" como primera fase.

## 1.4 ALCANCE

La presente investigación determina las principales características intrínsecas de la mampostería constituida por el bloque Inova Tk, resistencia a compresión ($f'_m$), módulo de elasticidad secante ($E_m$) y módulo de rigidez a corte o elasticidad transversal ($G_m$), mediante ensayos experimentales basados en normas técnicas tanto nacionales e internacionales como NTE INEN 3066 y ASTM (1314, E519) respectivamente y modelos analíticos propuestos por los autores; Prof. Hubert K. Hilsdorf "Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression" , M.J.N Priestley y D.M. Elder "Stress-Strain Curves for Unconfined and Confined Concrete Masonry".

Los resultados obtenidos permitirán realizar un análisis entre la fase experimental y la fase analítica, como también realizar el correspondiente ajuste del modelo analítico para esta tipología de bloque Inova Tk, además, al estar enfocado esta investigación al diseño de mampostería estructural, para la validación de los resultados se usará los criterios de diseño de la ACI 530-13 MSJC.

# CAPÍTULO II

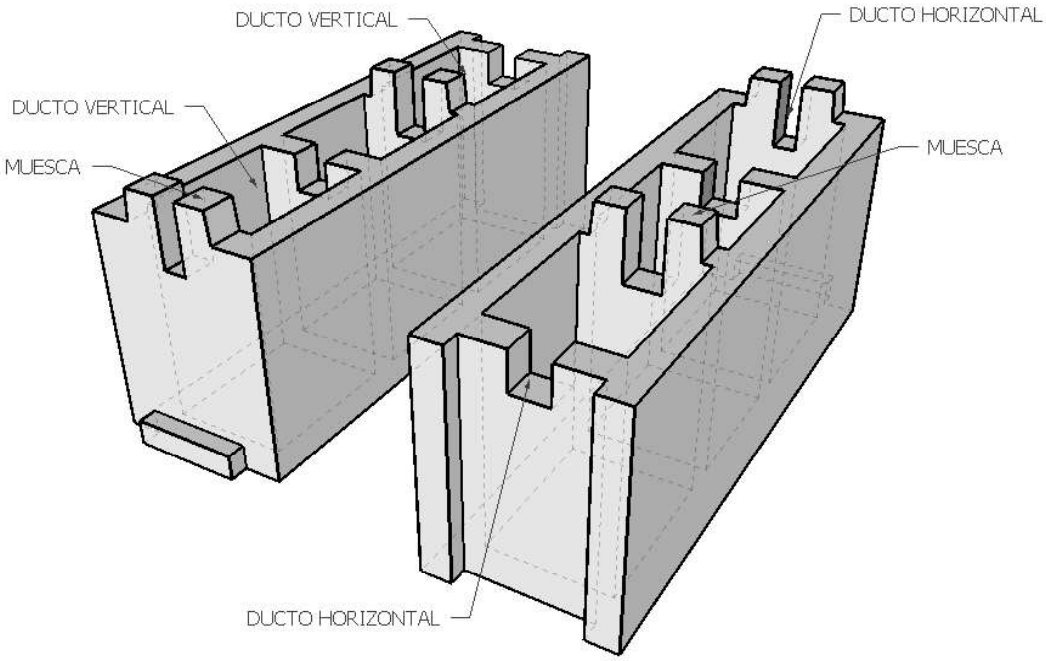
# MARCO TEÓRICO

## 2.1 MATERIALES CONSTITUYENTES DE LA MAMPOSTERÍA

### 2.1.1 BLOQUE INOVA TK

El bloque de concreto INOVA TK es un mampuesto industrial y estructural cuya resistencia máxima a la compresión uniaxial promedio es de 15 MPa, este elemento es hueco en su eje longitudinal, permitiendo el paso del acero de refuerzo vertical y colocación de grout, cuenta con ductos horizontales que además de distribuir el acero de refuerzo horizontalmente, también son idóneos para instalaciones hidrosanitarias y eléctricas. La empresa oferta al bloque INOVA TK con las características previamente descritas, las cuales serán verificadas durante la elaboración del presente proyecto de titulación.

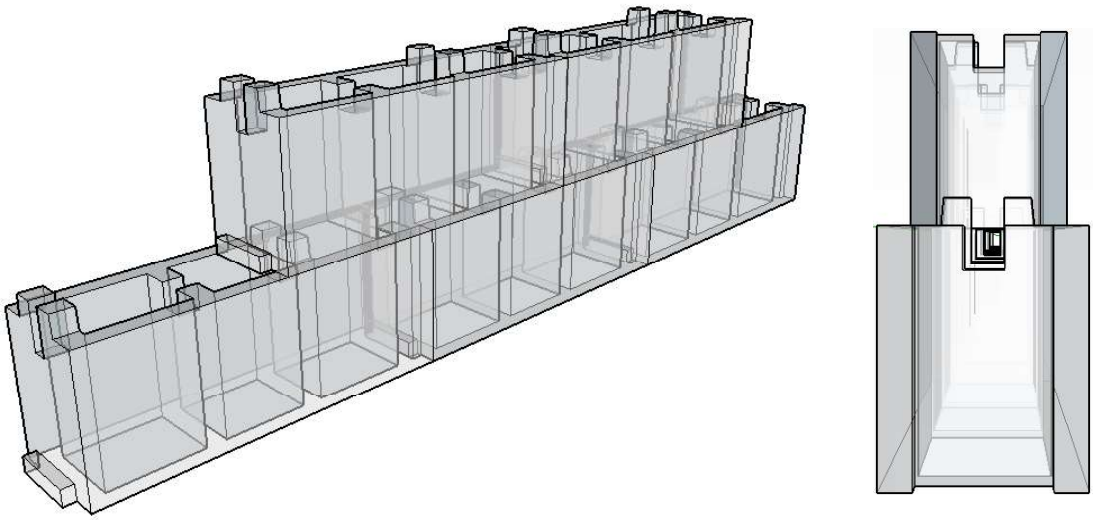
**FIGURA 2-1:** GEOMETRÍA DEL BLOQUE INOVA TK




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Este prototipo además de los ductos horizontales y verticales expuestos, también cuentan con muescas en la parte superior y en sus laterales como se muestra en la figura 2-1, que permiten un acople tipo lego entre ellos, así dando una mayor estabilidad al conjunto, ver figura 2-2.

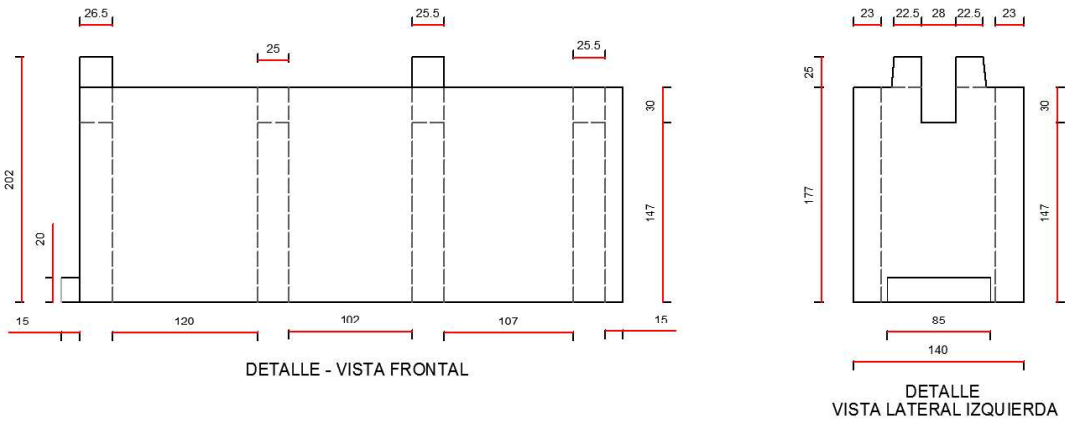
**FIGURA 2-2:** ACOPLE DE LOS BLOQUES INOVA TK

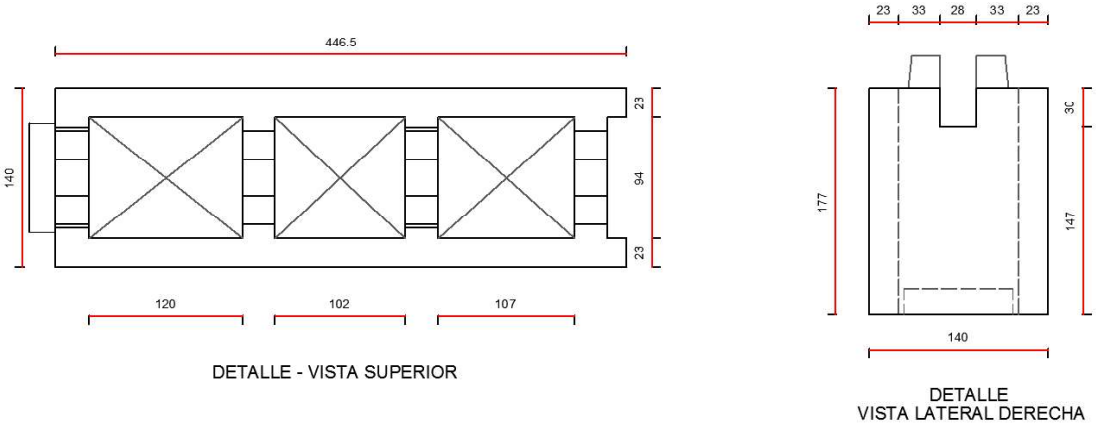


**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Su diseño modular permite adaptarse a cualquier tamaño requerido y sus dimensiones se observa en la figura 2-3. Este mampuesto está constituido por polvo de piedra del oriente de Pichincha, Pifo, chásqui de Latacunga, cemento armaduro selva alegre, agua y fibras de PET lo cual le brinda un acabado vistoso así evitando gastos innecesarios en el área de enlucido y acabados.

**FIGURA 2-3:** DIMESIONES DEL BLOQUE INOVA TK






DETALLE - VISTA SUPERIOR

DETALLE
VISTA LATERAL DERECHA

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

#### 2.1.1.1 Clasificación del bloque de acuerdo a su resistencia a compresión simple ($f'_{cb}$)

La resistencia a compresión simple o uniaxial, ya que no existen esfuerzos de confinamiento, no es más que la resistencia máxima que puede tolerar una probeta antes de fracturarse y está gobernada en gran parte por las fuerzas cohesivas y de fricción de sus materiales constituyentes (VALLEJO, 2002). Para determinar la resistencia a compresión del bloque Inova Tk se ensayarán seis ejemplares, mismos que deberán estar libres de humedad visible; refrentados de acuerdo con la NTE INEN 2619, con una capa de yeso o mortero de alta resistencia (35MPa – 24MPa) no mayor a 6mm de espesor.

Una vez listas las probetas para el ensayo serán colocadas enteras, alineadas con el eje de carga de la máquina de ensayo y mediante la ayuda de una placa de acero rígida de 25mm mínimo de espesor que cubra el área total del bloque, serán sometidas a una carga progresiva de compresión para así alcanzar la carga de rotura (INEN 3066, 2016).

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3066 en función a la resistencia a compresión máxima del bloque, clasifica al bloque en clase A, clase B y clase C como se presenta en la tabla 2-1.

**TABLA 2-1:** RESISTENCIA MÍNIMA A COMPRESIÓN EN BLOQUES DE HORMIGÓN

| DESCRIPCIÒN | RESISTENCIA NETA MÌNIMA A LA COMPRESIÒN SIMPLE (MPa)* | | |
|---|---|---|---|
| | CLASE A | CLASE B | CLASE C |
| Promedio de 3 bloques | 13.8 | 4 | 1.7 |
| Por bloque | 12.4 | 3.5 | 1.4 |
| *1 MPa = 10.2 kg/cm$^2$ | | | |

**FUENTE:** (INEN 3066, 2016)

### 2.1.1.2 Clasificación del bloque de acuerdo con su uso y densidad

De acuerdo con el uso, el bloque hueco de hormigón se clasifica en las siguientes categorías presentes en la sección 4, tabla 1 de la norma mencionada.

**TABLA 2-2:** CLASIFICACIÓN SEGÚN SU USO

| CLASE | USO |
|---|---|
| A | Mampostería estructural |
| B | Mampostería no estructural |
| C | Alivianamientos en losas |

**FUENTE:** (INEN 3066, 2016)

De acuerdo con la densidad, el bloque hueco de hormigón se clasifica en las siguientes categorías presentes en la sección 4 parte b, tabla 2 de la norma mencionada (INEN 3066, 2016).

**TABLA 2-3:** CLASIFICACIÓN SEGÚN SU DENSIDAD

| TIPO | DENSIDAD DEL HORMIGÓN ( Kg/m$^3$ ) |
|---|---|
| Liviano | < 1680 |
| Mediano | 1680 a 2000 |
| Normal | > 2000 |

**FUENTE:**(INEN 3066, 2016)

### 2.1.1.3 Clasificación del bloque según sus dimensiones

La norma establece que las dimensiones modulares dispuestas en la tabla 2-4 pueden ser modificadas, siempre y cuando cumplan con los parámetros físicos y mecánicos establecidos en esta norma, el largo debe ser mayor al ancho en las medidas nominales (INEN 3066, 2016).

**TABLA 2-4:** DIMENSIONES MODULARES

| DIMENSIONES MODULARES (nm) | | | DIMENSIONES MODULARES (mm) | | | DIMENSIONES NOMINALES (mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LARGO | ANCHO | ALTURA | LARGO | ANCHO | ALTURA | LARGO | ANCHO | ALTURA |
| 4 | 3 | 2 | 400 | 300 | 200 | 390 | 290 | 190 |
| | | 2.5 | | | 250 | | | 240 |
| 3 x | 2 x | | 300 x | 200 x | | 290 x | 190 x | |
| | | 1.5 | | | 150 | | | 140 |
| 2 | 1 | 1 | 200 | 100 | 100 | 190 | 90 | 90 |

**FUENTE:** (INEN 3066, 2016)

El bloque INOVA TK al ser ofertado como un bloque estructural deberá cumplir con un área, espesores mínimos de tabiques y paredes establecidas en la siguiente tabla.

**TABLA 2-5:** ESPESORES MÍNIMOS DE TABIQUES Y PAREDES PARA BLOQUES CLASE A

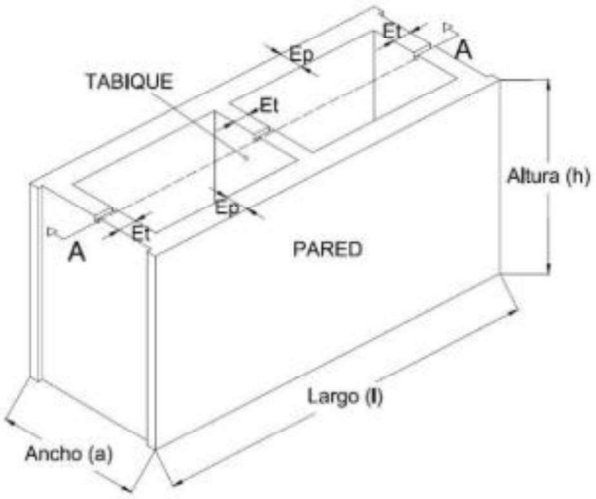
| ANCHO MODULAR DEL BLOQUE (mm) | ESPESORES MÍNIMOS DE PAREDES Y TABIQUES (mm) | | ÁREA MÍNIMA NORMALIZADA DE TABIQUES ($mm^2/m^2$) |
|---|---|---|---|
| | PAREDES | TABIQUES | |
| ≤ 100 | 19 | 19 | 45140 |
| 101 a 150 | 25 | 19 | 45140 |
| > 150 | 32 | 19 | 45140 |

**FUENTE:** (INEN 3066, 2016)

El ensayo se realizará en 6 bloques previamente seleccionados, si existen materiales adheridos a su superficie estos serán eliminados mediante un cepillo de acero o piedras abrasivas para tener superficies lisas. Para obtener las dimensiones se empleará un calibrador con divisiones legibles y no mayores a 1 mm(INEN 3066, 2016).

Las medidas se tomarán de la siguiente manera: 3 medidas del ancho (a) del bloque una en la superficie inferior, en el centro y en la superficie superior; una altura (h) por cada pared del bloque medida en el centro de la longitud de este; una medida del largo (l) en el centro de la altura de cada pared; se debe medir el espesor de pared (Ep) y el espesor de tabique (Et) 12mm por debajo de la superficie superior y se debe ignorar surcos o protuberancias existentes en el bloque (INEN 3066, 2016).

**FIGURA 2-4:** NOMENCLATURA DE LAS PARTES DE UN BLOQUE DE HORMIGÓN




**FUENTE:** (INEN 3066, 2016)

### 2.1.1.4 Clasificación del bloque de acuerdo a la absorción

El bloque Inova Tk al ser un bloque de Clase A la capacidad de absorción está regida por la siguiente tabla.

**TABLA 2-6:** ABSORCIÓN MÁXIMA DE BLOQUES CLASE A

| TIPO | DENSIDAD ($Kg/m^3$) | ABSORCIÓN DE AGUA MÁXIMA PROMEDIO ($Kg/m^3$) | ABSORCIÓN DE AGUA MÁXIMA POR UNIDAD ($Kg/m^3$) |
|---|---|---|---|
| Liviano | < 1680 | 288 | 320 |
| Medio | 1680 a 2000 | 240 | 272 |
| Normal | > 2000 | 208 | 240 |

**FUENTE:** (INEN 3066, 2016)

El ensayo se realizará en 6 bloques previamente seleccionados, los mismos deberán estar completos y no deben presentar ningún defecto.

Los bloques serán sumergidos por un periodo de 24 horas, luego se determinará la Masa sumergida del bloque (Mi) mediante una balanza de capacidad de 20 Kg la que tiene anclada a ella un alambre el cual sostendrá al bloque que se encuentra sumergido en un balde lleno de agua; registradas las masas (Mi) se procede a sacar al bloque del agua se dejará secar por alrededor 60 segundos ± 5 segundos se

retira el exceso de agua con un paño húmedo y se obtiene la masa saturada (Ms). Este procedimiento se repetirá cada 24 horas hasta que los registros de 2 pesadas consecutivas sean menores al 0.2% (INEN 3066, 2016).

Después de obtener la Mi y la Ms se procederá a secar los bloques en un horno por 24 horas y así obtener la masa seca al horno (Md), se repetirá este procedimiento cada 24 horas hasta que los registros de 2 pesadas consecutivas sean menores al 0.2% (INEN 3066, 2016).

Por último, se obtiene el porcentaje de absorción empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción } \% = \frac{M_s - M_d}{M_d} * 100 \qquad \textbf{2-1}$$

Para determinar la densidad seca al horno del bloque se emplea la ecuación 2-2.

$$\text{Densidad } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{M_d}{M_s - M_i} * 100 \qquad \textbf{2-2}$$

Dónde:

$M_s$ = Masa de la muestra saturada (g)

$M_d$ = Masa de la muestra seca al horno (g)

$M_i$ = Masa de la muestra sumergida (g)

### 2.1.2 MORTERO DE PEGA

La ASTM C-1180 (2015) define al mortero de pega como: “Mezcla constituida de materiales cementantes, agregado fino y agua con o sin aditivo” (Pg. 2). Se utiliza en la construcción para adherir unidades de mampostería (ladrillos o bloques de concreto) otorgando una mayor estabilidad a la mampostería. Al formar parte del muro de mampostería, el mortero estará sometido a cargas de compresión, por lo tanto, la resistencia a la compresión y adherencia desempeñan un papel muy importante (Simba, 2007).

Existen múltiples investigaciones sobre el comportamiento y dosificación de morteros, las normas ACI/ASCE consideran cuatro tipos de morteros, según el uso,

que son asignados mediante las letras M, S, N, O y K correspondientes a la palabra MaSoN wOrK y se presentan en la tabla siguiente

**TABLA 2-7:** TIPOS DE MORTERO SEGÚN SU USO

| TIPO | DESCRIPCIÓN |
|---|---|
| **M** | Mortero de alta resistencia y durabilidad que puede ser usada en muros de mampostería reforzada o no reforzada que estarán sometidos a cargas altas de compresión. También se utiliza en estructuras que están en contacto directo con el suelo como cimentaciones, muros de contención etc. (González, 2016). |
| **S** | Este tipo de morteros alcanzan una máxima capacidad de adherencia de un mortero de pega, por lo tanto se los puede usar para muros que estarán sometidos a cargas normales de compresión pero que demanden una capacidad alta de adherencia (González, 2016). |
| **N** | Este tipo de morteros son de uso general debido a su resistencia media, trabajabilidad moderada y economía. Es utilizado en paredes de división internas (PÉREZ & LÓPEZ, 2017). |
| **O** | Este tipo de morteros contienen una alta cantidad de cal y su resistencia a la comprensión es baja por lo tanto es utilizado para paredes con poca carga, su trabajabilidad es excelente y su costo es bajo (González, 2016). |

**ELABORADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

La norma INEN 2518 en el Apéndice V proporciona una guía para seleccionar el tipo de mortero a usar, la cual se la hace en base a la clase de las unidades usadas en la mampostería reforzada o no reforzada, así como en los códigos aplicados para dicha construcción (INEN 2518, 2010).

**TABLA 2-8:** GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE MORTEROS DE MAMPOSTERÍA

| UBICACIÓN | SEGMENTO DE CONSTRUCCIÓN | TIPO DE MORTERO | |
|---|---|---|---|
| | | RECOMENDADO | ALTERNATIVO |
| Exterior, por encima del nivel de terreno | Muro portante | N | S ó M |
| | Muro no portante | O | N ó S |
| | Antepecho | N | S |
| Exterior, en o por debajo del nivel de terreno | Muro de cimentación, pared de retención, pozos de inspección, desagues, pavimentos, caminos y pastios | S | M ó N |
| Interior | Muro portante | N | S ó M |
| | Tabiques no portantes | O | N |
| Interior o exterior | Reparación o acabado | Ver el Apéndice X | Ver el Apéndice X |

**FUENTE:** (INEN 2518, 2010)

### 2.1.2.1 Clasificación de morteros para mampostería

La norma Especificaciones Estándar para Mortero de Unidades de Mampostería (ASTM C270-14a) y la norma Morteros Para Unidades De Mampostería Requisitos (NTE INEN 2518), clasifican al mortero en 2 grupos: especificación por propiedades y especificación por dosificación, morteros para mampostería estructural reforzada o no reforzada(ASTM C270-14a, 1995).

**Especificación por propiedades*:*** Estos morteros son preparados en laboratorio y mezclados con una cantidad de agua para producir un flujo de alrededor de 110% ±5% (ASTM C270-14a, 1995). La cantidad de materiales utilizados para elaborar este tipo de morteros son controlados y mantenidos de manera precisa (INEN 2518, 2010).

**TABLA 2-9:** ESPECIFICACIÓN POR PROPIEDADES. REQUISITOS

| MORTERO | TIPO | RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS, Min, (MPa) | RETENCIÓN DE AGUA % min | CONTENIDO DE AIRE % max | RETENCIÓN DE ÁRIDOS (MEDIDOS EN CONDICIÓN HÚMEDA, SUELTA) |
|---|---|---|---|---|---|
| CEMENTO Y CAL | M | 17.2 | 75 | 12 | No menos que 2 1/4 y no más que 3 1/2 veces los volumenes separados de materiales cementantes |
| | S | 12.4 | 75 | 12 | |
| | N | 5.2 | 75 | 14[c] | |
| | O | 2.4 | 75 | 14[c] | |
| CEMENTO PARA MORTERO | M | 17.2 | 75 | 12 | |
| | S | 12.4 | 75 | 12 | |
| | N | 5.2 | 75 | 14[c] | |
| | O | 2.4 | 75 | 14[c] | |
| CEMENTO PARA MAMPOSTERÍA | M | 17.2 | 75 | 18 | |
| | S | 12.4 | 75 | 18 | |
| | N | 5.2 | 75 | 20[c] | |
| | O | 2.4 | 75 | 20[c] | |

**FUENTE**: (INEN 2518, 2010)

Los requisitos presentados en la tabla 2-9 no pueden ser utilizados para un control de calidad de un mortero realizado en obra, ya que el mortero realizado en obra necesita un mayor porcentaje de agua para obtener una mayor trabajabilidad por lo tanto la fluidez alcanzada es de 130% a 150 % (ASTM C270-14a, 1995).

**Especificación por dosificación:** Estos morteros se elaboran según el conocimiento del peso unitario de los materiales (ASTM C270-14a, 1995).

**TABLA 2-10:** ESPECIFICACIÓN POR DOSIFICACIÓN. REQUISITOS

| MORTERO | TIPO | DOSIFICACIONES POR VOLUMEN (MATERIALES CEMENTANTES) | | | | | | | | RELACÍON DE ÁRIDOS (MEDIDOS EN CONDICÍON HÚMEDA. SUELTA) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CEMENTO PORTLAND O CEMENTO COMPUESTO | CEMENTO PARA MORTERO | | | CEMENTO PARA MAMPOSTERÍA | | | CAL HIDRATADA O MASILLA DE CAL | |
| | | | M | S | N | M | S | N | | |
| CEMENTO Y CAL | M | 1 | … | … | … | … | … | … | 1/4 | No menos que 2 1/4 y no más que 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes |
| | S | 1 | … | … | … | … | … | … | Sobre 1/4 a 1/2 | |
| | N | 1 | … | … | … | … | … | … | Sobre 1/2 a 1 1/4 | |
| | O | 1 | … | … | … | … | … | … | Sobre 1 1/4 a 2 1/2 | |
| CEMENTO PARA MORTERO | M | 1 | … | … | 1 | … | … | … | … | |
| | M | … | 1 | … | … | … | … | … | … | |
| | S | 1/2 | … | … | 1 | … | … | … | … | |
| | S | … | … | 1 | … | … | … | … | … | |
| | N | … | … | … | 1 | … | … | … | … | |
| | O | … | … | … | 1 | … | … | … | … | |
| CEMENTO PARA MAMPOSTERÍA | M | 1 | … | … | … | … | … | 1 | … | |
| | M | … | … | … | … | 1 | | … | … | |
| | S | 1/2 | … | … | … | … | | 1 | … | |
| | S | … | … | … | … | … | 1 | … | … | |
| | N | … | … | … | … | … | | 1 | … | |
| | O | … | … | … | … | … | | 1 | … | |

**FUENTE:** (INEN 2518, 2010)

### 2.1.2.2 Componentes del mortero

La NTE INEN 2518 establece en el numeral 6.1 los requisitos que deben cumplir todos los materiales que constituyen el mortero de pega.

#### *2.1.2.2.1 Materiales cementantes*

El cemento es uno de los materiales que otorga durabilidad, resistencia y trabajabilidad dependiendo de la proporción que se utilice en la mezcla del mortero. Los tipos de materiales cementantes varían y deben cumplir con ciertas normas para ser utilizados en la conformación del mortero de pega.

**TABLA 2-11:** MATERIALES CEMENTANTES

| CEMENTO | TIPOS | NORMAS POR CUMPLIR |
|---|---|---|
| Portland | I, IA, II, IIA, III, IIIA o V | NTE INEN 152 |
| Hidráulicos Compuestos | IS (<70), IS (<70)-A, IP, IP-A | NTE INEN 490 |
| Hidráulicos | GU, HE, MS, HS, MH y LH | NTE INEN 2380 |
| Portland de escoria de altos hornos | Para uso en especificaciones por propiedades únicamente | NTE INEN 490 |
| Mampostería | - | NTE INEN 1806 |
| Mortero | - | ASTM C 1329 |

**FUENTE:** (INEN 2518, 2010)

#### *2.1.2.2.2 Áridos para la construcción*

El árido es otro material que influye en la resistencia, trabajabilidad y reducción de la retracción del mortero, al formar un esqueleto que evita cambios de volumen y agrietamiento (Gualacata & Ortega, 2017).

El árido que se utiliza para la realización de morteros puede ser: ARENA NATURAL que se obtiene de arrastres fluviales y canteras; ARENA ELABORADA que se obtiene de procesos industriales como trituración de rocas, grava o escoria de altos hornos (INEN 2536, 2010).

El árido a usarse será determinado por la norma NTE INEN 2536 (2010): "Áridos para el uso de morteros de mampostería. Requisitos", en donde se evaluará la Granulometría y Contenido de material Orgánico.

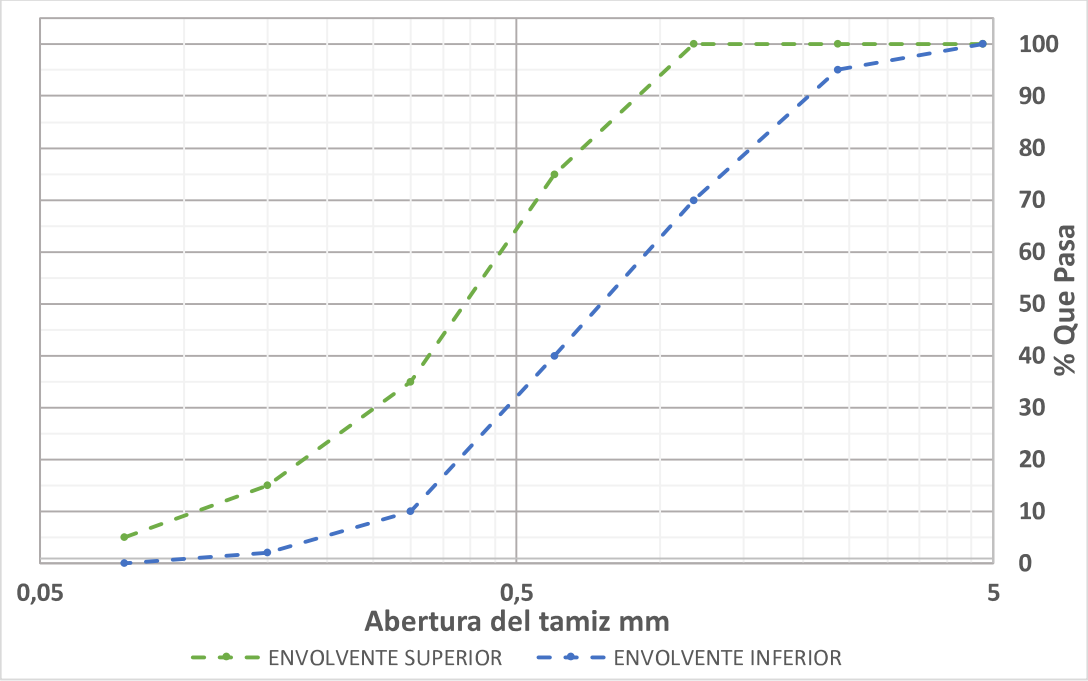
Para la elaboración del mortero, el árido debe cumplir con la siguiente graduación presentada en la tabla 2-12.

**TABLA 2-12:** LIMITES GRANULOMÉTRICOS DEL ÁRIDO PARA USO EN MORTERO PARA MAMPOSTERÍA

| TAMIZ | PORCENTAJE PASANTE | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ARENA NATURAL | | ARENA ELABORADA | |
| | %MIN | %MÁX | %MIN | %MÁX |
| 4.75mm (No.4) | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2.36mm (No 8) | 95 | 100 | 95 | 100 |
| 1.18mm (No.16) | 70 | 100 | 70 | 100 |
| 0.6mm (No 30) | 40 | 75 | 40 | 75 |
| 0.3mm (No 50) | 10 | 35 | 20 | 40 |
| 0.15mm (No 100) | 2 | 15 | 10 | 25 |
| 0.075mm (No 200) | 0 | 5 | 0 | 10 |

**FUENTE:** (INEN 2536, 2010)

**FIGURA 2-5:** LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DEL ÁRIDO PARA USO EN MORTERO PARA MAMPOSTERÍA




**REALIZADO POR:** López & Manobanda

La masa retenida entre 2 tamices consecutivos no puede ser mayor al 50% y tampoco se puede retener más del 25% de arena entre el tamiz No. 50 y No. 100. Si el árido no cumple con los porcentajes de masas retenidas y los requisitos de la

tabla 2-12, se podrá utilizar ese árido para la elaboración de morteros siempre y cuando el mortero cumpla con la resistencia requerida para el proyecto (INEN 2536, 2010).

El ensayo de Contenido de material orgánico se realizará por la norma NTE INEN 0855 (2010): “Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón”, el árido que produzca colores más oscuros a los establecidos en la norma serán rechazados o se los podrá utilizar siempre que en el ensayo de la NTE INEN 0866 (2011): “Efecto de resistencia por impurezas orgánicas”, la resistencia de las probetas de morteros ensayadas a los 7 días no sea menor al 95% (INEN 2536, 2010).

#### *2.1.2.2.3 Agua para construcción*

El agua para la construcción de morteros y para el curado debe ser potable debe estar libre de materia orgánica, aceites, ácidos, sales o cualquier sustancia que perjudique al mortero (INEN 2518, 2010).

### 2.1.2.3 Propiedades del morteros de pega

Los morteros tienen dos conjuntos importantes de propiedades en estado plástico y endurecido.

#### *2.1.2.3.1 Morteros en estado plástico*

Las propiedades en estado plástico determinan las características y cualidades del mortero al momento de construir, también están relacionadas con las propiedades en su estado endurecido (INEN 2536, 2010).

La trabajabilidad en el mortero permite la extensión por los agrietamientos o superficie de los bloques facilitando así la alineación y unión (INEN 2518, 2010), teniendo en cuenta también la capacidad de retención de agua, pero una de las propiedades más relevantes del mortero en estado plástico y que sirve como un parámetro de control al dosificar es la fluidez.

La fluidez es una propiedad del mortero que se mide en laboratorio y determina la cantidad de agua que debe llevar un mortero para la homogenización entre el cemento y el árido (PÉREZ & LÓPEZ, 2017).

El ensayo de fluidez se realizará usando la norma NTE INEN 2502 (2009): “Cemento hidráulico”. Determinación del flujo en morteros. La preparación del mezclado del mortero se lo realiza con la norma NTE INEN 0155 (2009): “Cemento hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica”.

Para la elaboración de la pasta se debe realizar lo siguiente:

> Se coloca el agua en el tazón de la mezcladora se añade el cemento y se mezcla durante 30 segundos a una velocidad baja, se vierte la arena a la mezcla durante los siguientes 30 segundos y se continua con el mezclado a velocidad baja. Detener la mezcladora cambiar a una velocidad media y mezclar durante 30 segundos, detener la mezcladora y dejar reposar la pasta por 90 segundos en donde en los primeros 15 segundos se empuja el mortero de las paredes del tazón hacia abajo y se cubre el tazón con la tapa. Para terminar, se mezcla el mortero por los últimos 60 segundo a velocidad media (INEN 0155, 2009).

Para la prueba de fluidez se utilizará la mesa de flujo, molde de flujo, compactador y un flexómetro. Colocar en la mesa de flujo el molde centrado, añadir la primera capa de mortero hasta la mitad del molde de flujo y apisonar 20 veces con el compactador, añadir el resto de mortero hasta llenar el molde de flujo y apisonar 20 veces, retirar el exceso de mortero del molde enrasando la superficie. Retirar con cuidado el molde y dejar caer la mesa 25 veces en un intervalo de 15 segundos (INEN 2502, 2009).

El flujo del mortero se obtiene de la siguiente manera:

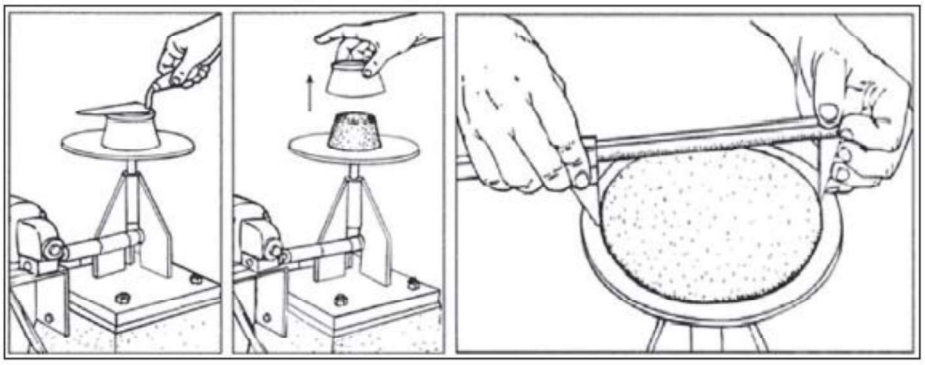
$$\%\text{Fluidez} = \frac{\left(\frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4}{4}\right) - D_i}{D_i} * 100 \qquad \textbf{2-3}$$

Dónde:

$D_1$, $D_2$, $D_3$, $D_4$: Diámetros medidos en la mesa del flujo

$D_i$: Diámetro inicial del molde de fluidez que es igual a 10 cm

**FIGURA 2-6:** ENSAYO DE FLUIDEZ



**FUENTE:** (LÓPEZ & USHIÑA, 2017)

La norma establece que en un mortero de laboratorio el porcentaje de fluidez debe estar alrededor de 110% ±5%, mientras que los morteros empleados en construcción deben tener un porcentaje de fluidez de 130% a 150%(INEN 2518, 2010).

#### *2.1.2.3.2 Morteros en estado endurecido*

Las propiedades en estado endurecido determinan el comportamiento final del mortero de pega en la mampostería (INEN 2518, 2010).

Si bien la adherencia depende de algunos factores como el contenido de aire, absorción, textura del mampuesto en uso y se puede mejorar aumentando el contenido de cemento; la resistencia a la adherencia siempre será menor que la resistencia a tracción y compresión, por lo tanto, el mortero siempre estará propenso a fallas de adherencia cuando está sometido a esfuerzos bajos de tracción y corte (INEN 2518, 2010). Pero el principal parámetro que se estudia en la dosificación de los morteros es la resistencia a compresión.

La resistencia a compresión del mortero ($f'_j$) depende en gran mayoría de la relación agua/cemento y el porcentaje de cemento presente; la resistencia aumenta con el

contenido de cemento y disminuye con el contenido de agua, arena y cal (INEN 2518, 2010).

La resistencia a la compresión no es el único factor importante para seleccionar el tipo de mortero a emplearse en una construcción. La retención de agua y la trabajabilidad son importantes características para obtener una máxima adherencia entre el mortero y el mampuesto; la resistencia a la flexión es de suma importancia ya que mide la capacidad del mortero a resistir agrietamientos.

Para determinar la resistencia a compresión del mortero de pega se utiliza la norma NTE INEN 0488 (2009): “Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista”. En donde se realizarán los cubos con una dosificación determinada y se ensayarán a los 3,7 y 28 días, como mínimo se debe realizar 2 cubos para cada fecha de ensayo. Por otra parte, se puede elaborar cilindros de mortero los cuales se ensayan únicamente a los 28 días (INEN 0488, 2009).

Cumplido los 28 días las probetas se deben retirar de la cámara de curado, secar y visualizar que las caras que estarán en contacto con la máquina de compresión sean totalmente lisas; si existe alguna curvatura se debe esmerilar la cara hasta obtener una superficie lisa y libre de alguna incrustación no deseada (INEN 0488, 2009)

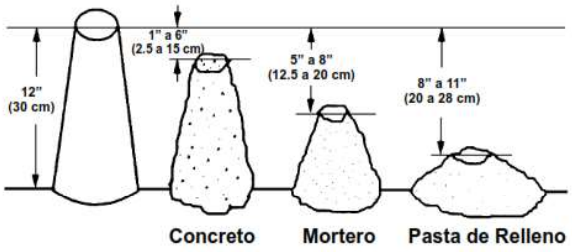
### 2.1.3 HORMIGON LIQUIDO O GROUT

Mezcla constituida de materiales como, cementantes, agregados fino y/o grueso, agua y aditivos, que forman una mezcla liquida o también llamada “lechada de relleno” de tal manera que fluya por los orificios de las unidades de mampostería, con la finalidad de favorecer la unión entre el acero de refuerzo longitudinal con la mampostería, formando así un conjunto monolítico estructural (ACI 530-05, 2011).

El hormigón liquido o grout debe tener una consistencia tal que permita un balance entre una adecuada trabajabilidad y evitar la segregación. El asentamiento del

hormigón líquido es el principal parámetro de control, la ASTM C476-18 presenta los valores máximos y mínimos permisibles de este parámetro.

**FIGURA 2-7:** DIFERENTES ASENTAMIENTOS TÍPICOS




**FUENTE:** (NRMCA, 2012)

### 2.1.3.1 Dosificación

La ASTM C476-18 presenta dos tipos de grout, el fino y el grueso, este último contiene ripio con un diámetro menor 3/8”. Además, esta normativa proporciona una dosificación de parte por volumen, mostrada en la tabla 2-13, mismo que debe presentar un asentamiento entre 20 y 28 cm.

**TABLA 2-13:** MORTEROS DE RELLENO - PARTES POR VOLUMEN

| TIPO DE RELLENO | CEMENTO PORTLAND | CAL | AGREGADO FINO SUELTO | AGREGADO GRUESO SUELTO |
|---|---|---|---|---|
| RELLENO FINO | 1 | 0 a 0.1 | 2.25 a 3.0 | - |
| RELLENO GRUESO | 1 | 0 a 0.1 | 2.25 a 3.0 | 1 a 2 |

**FUENTE:** (ASTM C476, 2018)

De acuerdo con la ACI 530-13 MSJC en el apartado 11.1.8 especifica que la resistencia a compresión del grout ($f'_g$) debe ser mayor o igual a 13.8 MPa (140 kg/cm$^2$) y no debe exceder 34.5 MPa (352 kg/cm$^2$). Sin embargo, la NEC-SE-MP permite una resistencia mayor o igual a 10 MPa (102 kg/cm$^2$).

### 2.1.3.2 Agregado grueso

El agregado grueso es el mayor constituyente del volumen total del hormigón, ocupando un 70%, además es el principal responsable del factor económico de la mezcla (LUNA, 2014)

Según el Ing. Niño Hernández en su libro "Tecnología del Concreto Tomo I" clasifica al agregado según el tamaño como se presenta en la tabla 2-14.

**TABLA 2-14:** CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO SEGÚN EL TAMAÑO

| TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS EN mm (TAMIZ) | DENOMINACIÓN CORRIENTE | CLASIFICACIÓN | CLASIFICACIÓN COMO AGREGADO PARA CONCRETO |
|---|---|---|---|
| < 0.002 | Arcilla | Fracción muy fina | No recomendable |
| 0.002 - 0.074 (No. 200) | Limo | | |
| 0.075 - 4.76 (No. 200) - (No. 4) | Arena | Agregado fino | Material apto para producir concreto |
| 4.76 - 19.1 (No. 4) - (3/4") | Gravilla | Agregado grueso | |
| 19.1 - 50.8 (3/4") - (2") | Grava | | |
| 50.8 - 152.4 (2") - (6") | Piedra | | |
| > 152.4 (6") | Rajón Piedra bola | | |

**FUENTE:** (Terreros & Carvajal, 2016)

Bajo este concepto el agregado el cual se utiliza en esta tesis va desde un rango de arena hasta gravilla, una mezcla de agregado fino y agregado grueso, cuyos diámetros varían desde 19.1mm a 0.075mm.

Se especifica que para poder usar la dosificación de la tabla 2-13, la granulometría del agregado grueso debe cumplir con lo especificado en la ASTM C404-18, en la cual la curva granulométrica para el agregado grueso debe cumplir con la envolvente establecida en la tabla 2-15.

**TABLA 2-15**: GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS GRUESOS

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PORCENTAJE QUE PASA | |
|---|---|---|---|
| | | No. 8 | No. 89 |
| 1/2 | 12.5 | 100 | 100 |
| 3/8 | 9.5 | 85 - 100 | 90 - 100 |
| 4 | 4.75 | 10 - 30 | 20 - 55 |
| 8 | 2.36 | 0 -10 | 5 - 30 |
| 16 | 1.18 | 0 - 5 | 0 - 10 |
| 30 | 0.6 | ------ | 0 - 5 |

**FUENTE:** (ASTM C404, 2018)

### 2.1.3.3 Agregado fino

Se considera como arena o agregado fino a la fracción contenida entre los tamices No. 4 (4.75mm) y No. 200 (0.075mm) según la tabla 2-15.

Bajo los estándares recomendados para el grout de relleno grueso, la arena a utilizarse debe cumplir con la granulometría según el cuadro que presenta la ASTM C404-18 a continuación.

**TABLA 2-16:** GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS

| TAMIZ | ABERTURA (mm) | PORCENTAJE QUE PASA | | |
|---|---|---|---|---|
| | | No. 1 | No. 2 | |
| | | | Natural | Triturada |
| 3/8 | 9.5 | 100 | ---- | ---- |
| 4 | 4.75 | 95 - 100 | 100 | 100 |
| 8 | 2.36 | 80 - 100 | 95 - 100 | 95 - 100 |
| 16 | 1.18 | 50 - 85 | 70 - 100 | 70 - 100 |
| 30 | 0.6 | 25 - 60 | 40 - 75 | 40 - 75 |
| 50 | 0.3 | 5 - 30 | 10 - 35 | 20 - 40 |
| 100 | 0.15 | 0 - 10 | 2 - 15 | Oct-25 |
| 200 | 0.075 | ---- | 0 - 5 | 0 - 10 |

**FUENTE:** (ASTM C404, 2018)

### 2.1.3.4 Relación agua /cemento

La relación a/c es uno de los parámetros de suma importancia en el diseño de hormigones, ya que esta determina la resistencia, la trabajabilidad y durabilidad de la mezcla (Romero & Hernández, 2014).

Los valores de relación agua/cementos necesarios para una completa hidratación del cemento en función de la resistencia a compresión probable se los presenta en la tabla 2-17.

**TABLA 2-17** RELACIÓN AGUA/CEMENTO RECOMENDADA PARA DIFERENTES RESISTENCIAS A COMPRESIÓN, CON Y SIN INCLUSIÓN DE AIRE

| RELACIÓN AGUA/CEMENTO, (a/c) (litros/kg de cemento) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROBABLE A LOS 28 | |
|---|---|---|
| | HORMIGÓN SIN INCLUSIÓN DE AIRE | HORMIGÓN CON INCLUSIÓN DE AIRE |
| 0.353 | 425 | 325 |
| 0.445 | 350 | 280 |
| 0.530 | 280 | 210 |
| 0,623 | 210 | 180 |
| 0.705 | 180 | 140 |
| 0.800 | 140 | 110 |

**FUENTE:** (LUNA, 2014)

### 2.1.3.5 Absorción de los agregados

El grout al estar constituido por los agregados y cemento, cada componente absorbe una determinada cantidad de agua, un porcentaje es absorbido por el cemento y el restante por los agregados hasta la saturación, dependiendo de la porosidad, el contenido de humedad inicial y el tiempo de mezclado (Nieto & Salazar, 1988)

Los agregados están constituidos por poros internos abiertos, en los cuales el agua es accesible sin necesidad de presión, y también por poros internos cerrados en los cuales es necesario una determinada presión para la saturación. Cuando el agregado se sumerge en agua durante 24 horas; si todos los poros se llenan completamente o parcialmente de agua y la superficie está seca, entonces el agregado está en condición de “Superficie Saturada Seca”, S.S.S, condición la cual se supone que el agregado obtiene en el interior de la mezcla de concreto (LUNA, 2014).

Al realizar dosificaciones de mezclas es indispensable determinar el porcentaje de absorción del agregado, $\%Ab$, el porcentaje del contenido de humedad, $\%W$, y el peso del material en estado natural con el objetivo de conocer la cantidad de agua necesaria para que este se encuentre en condiciones S.S.S.

La siguiente ecuación representa la variación de agua entre el estado natural y la condición saturada:

$$\Delta_{\mathrm{w}} = \mathrm{W_m}\left(\frac{100 + \%\mathrm{Ab}}{100 + \%\mathrm{W}} - 1\right) \qquad \textbf{2-4}$$

Dónde:

$\Delta_w$ = Diferencia de agua, entre condición SSS y estado natural, g.

$\mathrm{W_m}$ = Peso del material en estado natural, g.

$\%\mathrm{Ab}$ = Porcentaje de absorción del material, expresado en fracción

$\%\mathrm{W}$ = Contenido de humedad del agregado, expresado en fracción

Debido a que las condiciones en las que se realiza la dosificación en el laboratorio son totalmente secas el porcentaje de contenido de humedad $\%\mathrm{W}$ es cero y el peso de la muestra en estado natural, $\mathrm{W_m}$, está completamente seca, por lo tanto, tenemos:

$$\mathrm{W_m} = \mathrm{W_s} \qquad \textbf{2-5}$$

Dónde:

$\mathrm{W_s}$: Peso del material sólido, seco

Por lo tanto, para determinar la cantidad de agua necesaria para que el agregado este en condición S.S.S se determina de la siguiente ecuación:

$$\Delta_{s.s.s} = W_s\left(\frac{100 + \%Ab}{100} - 1\right) \qquad \textbf{2-6}$$

Dónde:

$\Delta_{s.s.s}$= Cantidad de agua necesaria para condición S.S.S, g.

$\mathrm{W_s}$ = Peso del material seco $(110 \mp 5)$, g.

$\%\mathrm{Ab}$ = Porcentaje de absorción del agregado

## 2.2 PROPIEDADES DE LA MAMPOSTERÍA

Se define a la mampostería como el conjunto de bloques o mampuestos trabados entre sí sobre una capa de mortero (NEC-SE-MP, 2015). Al ser la mampostería un material anisótropo, este dependerá del plano de carga y la función que desempeñe en la estructura.

La Mampostería Reforzada y Mampostería Parcialmente Reforzada están constituidas por alambre o varillas, generalmente de acero, que atraviesan ductos verticales u horizontales, confinados con la ayuda del hormigón líquido o grout (NEC-SE-MP, 2015) .

La Mampostería Simple no cuenta con ningún tipo de refuerzo mientras que la Mampostería Confinada está reforzada con elementos confinantes, elementos que pueden ser columnas, vigas de hormigón o columnetas formadas por el relleno con hormigón líquido en ductos verticales del mampuesto (Chiriboga, 2019).

El conocer algunos parámetros mecánicos generales de la mampostería nos da una idea de su comportamiento bajo solicitaciones axiales tales como: resistencia a la compresión ($f'_m$), módulo de elasticidad ($E_m$) y módulo de rigidez ($G_m$). Existe dos metodologías para poder determinar estos parámetros, la primera es mediante ensayos individualizados de cada uno de sus componentes y la segunda en base a ensayos directos a la mampostería mediante prototipos representativos y normados bajo estándares técnicos.

Con la finalidad de determinar los parámetros expuestos anteriormente se procederá a construir 12 muretes y 6 prismas de mampostería; en donde los 6 muretes serán ensayados a compresión axial, 6 muretes a tensión diagonal y 6 prismas a compresión axial.

Todas las probetas se ensayarán a los 28 días como lo estipulan las respectivas normas utilizadas.

### 2.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ($f'_m$)

Este parámetro es un indicador de la capacidad máxima que tiene el conjunto para soportar cargas de compresión, y está gobernado principalmente por la resistencia del bloque o mampuesto, puesto que el primer elemento en fallar es el bloque debido a los agrietamientos producidos por el estado de tensión triaxial y la expansión diferencial lateral del bloque-mortero (LÓPEZ, J.;OLLER, S.; OÑATE, 1998).

Varios autores han desarrollado formulas empíricas en base a los materiales constituyentes de la mampostería.

Mehlmann and Oppermn establece una correlación entre las resistencias a compresión del bloque y del mortero en la siguiente ecuación (Crisafulli, 1997).

$$\mathrm{f'_m} = 0.83\ (\mathrm{f'_{cb}})^{0.66}\ \left(\mathrm{f'_j}\right)^{0.18}\ \text{(MPa)} \qquad \textbf{2-7}$$

Mientras que el "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente" (NSR, 2010) en el capítulo D sección D.3.7.5 presenta la siguiente ecuación, en la cual además de considerar la resistencia a compresión del bloque y mortero, también toma en cuenta la altura del bloque y su capacidad de absorción (NSR-10, 2010).

$$\mathrm{f'_m} = 0.75\mathrm{R_m}$$

$$\mathrm{R_m} = \left(\frac{2\mathrm{h}}{75+3\mathrm{h}}\right)\mathrm{f'_{cb}} + \left(\frac{50\mathrm{k_p}}{75+3\mathrm{h}}\right)\mathrm{f'_j} \leq 0.8\mathrm{f'_{cb}} \qquad \textbf{2-8}$$

Dónde:

$h =$ Altura del bloque, mm

$f'_{cb} =$ Resistencia específica uniaxial del bloque, MPa

$f'_j =$ Resistencia específica uniaxial del mortero de pega, MPa

$k_p =$ Factor de corrección por absorción del bloque, para bloques de concreto. Kp puede tomar un valor de 1.4

Otras ecuaciones empíricas como la propuesta por Hubert K. Hilsdorf acaparan parámetros más completos como la resistencia a la tensión del bloque, mortero y un coeficiente de uniformidad de los esfuerzos generados (Hilsdorf, 1969).

$$f'_m = \frac{f'_{cb}}{U} \frac{f'_{tb} + \alpha * f'_j}{f'_{tb} + \alpha * f'_{cb}} \qquad \textbf{2-9}$$

Dónde:

$$\alpha = \frac{j}{m*b}$$

Dónde:

$f'_m$ = Resistencia a la compresión de la mampostería específica o de diseño, MPa

$f'_{cb}$ = Resistencia a compresión del bloque, MPa

$f'_{tb}$ = Resistencia a tensión del bloque, MPa

$f'_j$ = Resistencia a compresión uniaxial del mortero, MPa

$U$ = Coeficiente de no uniformidad, adimensional

$j$ = Altura de la capa de mortero, mm

$b$ = Altura del bloque, mm

$m$ = Coeficiente de confinamiento, adimensional

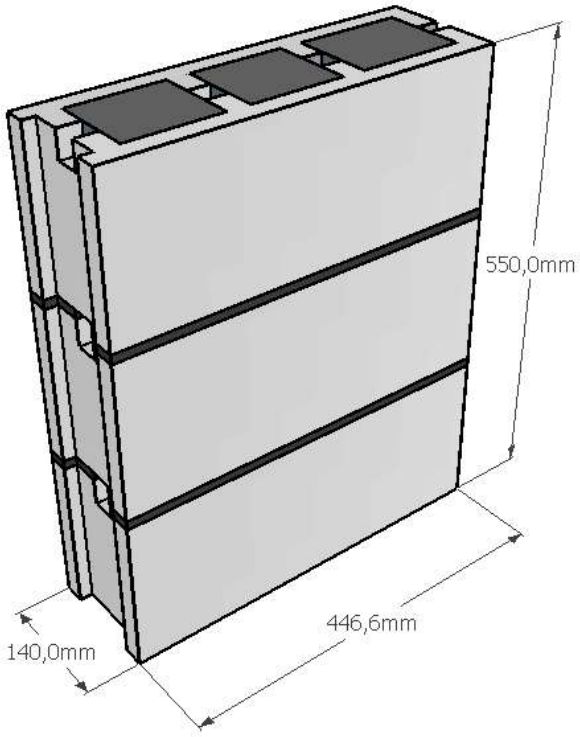
Otro de los métodos para obtener la resistencia a compresión de la mampostería es mediante el ensayo de muestras representativas, como son muretes y prismas, este es uno de los métodos más utilizados ya que la constitución de las probetas, bloque-mortero, representa las condiciones reales a las que está expuesta la mampostería.

Varias normas técnicas dan pautas para la construcción y ensayo de muretes y prismas tales como: NEC-SE-MP, ASTM C1314-16 y “NSR-10”.

#### 2.2.1.1 Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de los prismas se hizo referencia a las normas: ASTM C1314-16 la cual estipula que la relación altura/espesor ($^{h_p}/_{t_p}$) debe estar entre 1.3 a 5 y la norma NEC-SE-MP establece que el prisma debe tener como mínimo tres hiladas y la relación altura/espesor debe ser ($^{h_p}/_{t_p} \geq 3$). Por lo tanto, se establece una dimensión de 55cm de alto por 44.66cm de largo, 14cm de espesor, 5mm de espesor de mortero de pega y relleno con grout.

**FIGURA 2-8:** DIMENSIONES DE LOS PRISMAS

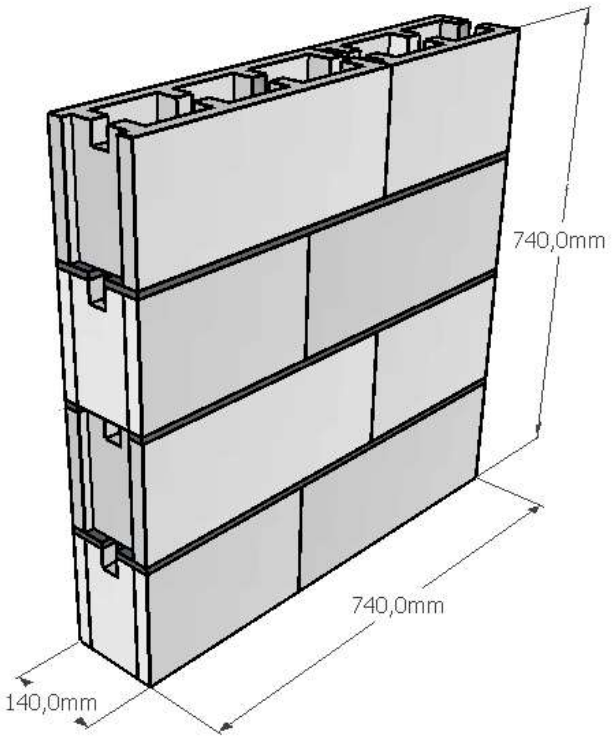



**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Se procederá a realizar muretes y así determinar la resistencia a compresión de la mampostería con la intervención únicamente del bloque y mortero. El murete se realizará según las estipulaciones de la norma "NSR-10" que en la sección D.3.7.2 establece que para muretes que serán sometidos a compresión, la relación $^{h_p}/_{t_p}$ debe estar entre 1.5 a 5, por lo tanto, las dimensiones que se establecieron para los muretes a compresión son: 74cm de alto por 74cm de largo, 14cm de espesor y

5mm de espesor de mortero de pega, con la finalidad que el mayor trabajo de trabado lo realice las muescas.

**FIGURA 2-9:** DIMENSIONES DEL MURETE




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Para contrarrestar los efectos de esbeltez y de confinamiento la norma ASTM C1314-16 presenta un factor de corrección que relaciona la altura ($h_p$) y el espesor ($t_p$) y dichos valores varían entre 1.3 y 5, si esta relación, altura/espesor, está entre los valores de la tabla 2-18 la misma norma recomienda realizar una interpolación lineal con la finalidad de obtener el factor de corrección correspondiente.

**TABLA 2-18:** FACTOR DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ PARA PRISMAS Y MURETES

| **RELACIÓN ALTURA/ESPESOR DEL PRISMA** | 1.3 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **FACTOR DE CORRECIÓN** | 0.75 | 0.86 | 1 | 1.04 | 1.07 | 1.15 | 1.22 |

**FUENTE:** (ASTM C1314, 2016)

Este factor lo utiliza la ASTM C1314-16 para prismas y la "NSR-10" para muretes.

#### 2.2.1.2 Requisitos para la construcción, curado y refrentado de prismas y muretes

La construcción de los prismas y muretes se realizará reflejando las condiciones verdaderas que se tendrá al momento de la construcción; tanto en el material ya sea este el bloque, mortero y grout; como en la mano de obra (NEC-SE-MP, 2015).

Después de finalizada la construcción se procederá a taparlos con plástico durante los primeros 14 días y el resto de días los prismas estarán expuestos a la temperatura ambiente del laboratorio hasta el día del ensayo (NEC-SE-MP, 2015).

Un día antes de ensayar los prismas se procederá a refrentar la superficie en la que se va a aplicar la carga para así obtener una superficie homogénea para una adecuada distribución de esfuerzos.

Se establece que el refrentado debe tener un espesor máximo de 4mm el cual tendrá una resistencia mínima de 350 $^{kg}/_{cm^2}$ y estará constituido por una relación de yeso y agua entre 0.26 a 0.30 para poder alcanzar dicha resistencia (ASTM C1552-16, 2016).

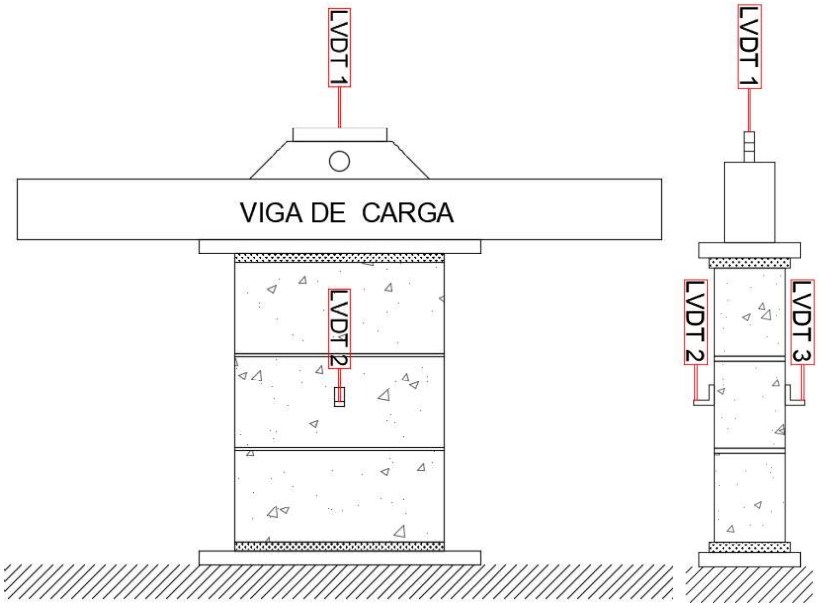
Debido a la poca manejabilidad que presenta la mezcla de yeso y agua se agrega a la mezcla caolín (arcilla cerámica), también se puede utilizar neopreno y una mezcla de cemento y arena fina en una dosificación 1:1 o 1:2 (Gonzáles & Torres, 2010).

#### 2.2.1.3 Instrumentación

En cada probeta, tanto en prismas como en muretes, se colocará 2 ángulos de acero inoxidable, en ambas caras, mediante epóxido ubicadas a la altura y longitud media de los prismas.

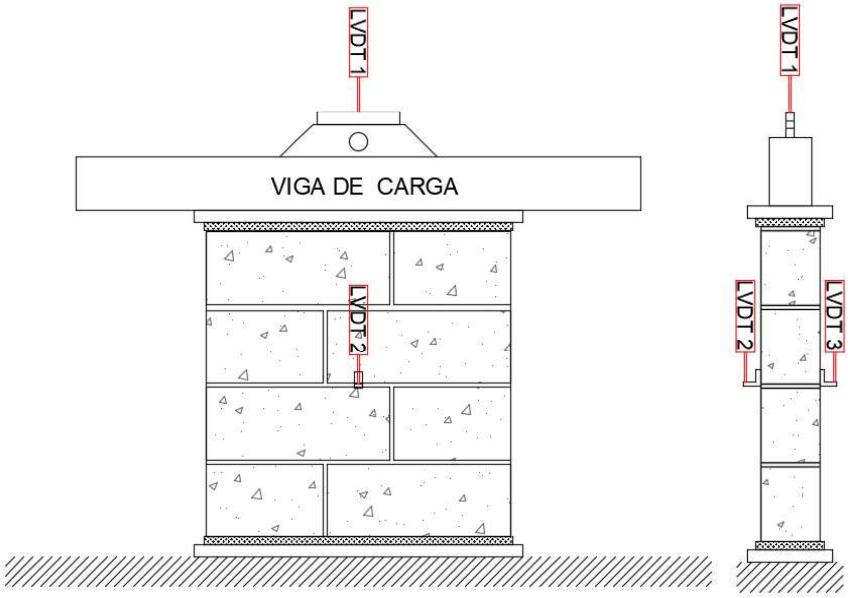
Se colocará 3 transductores de desplazamiento (LVDTs), 2 LVDTs que estarán apoyados en los ángulos de acero y 1 LVDT ubicado en la celda de carga, con la finalidad de determinar los desplazamientos durante la aplicación de la carga en el tiempo, de forma directa en las probetas y de forma indirecta sobre la celda de carga, como se muestra en la figura 2-10 y 2-11.

**FIGURA 2-10:** UBICACIÓN DE LOS LVDTs EN LOS PRISMAS




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FIGURA 2-11:** UBICACIÓN DE LOS LVDTS EN LOS MURETES



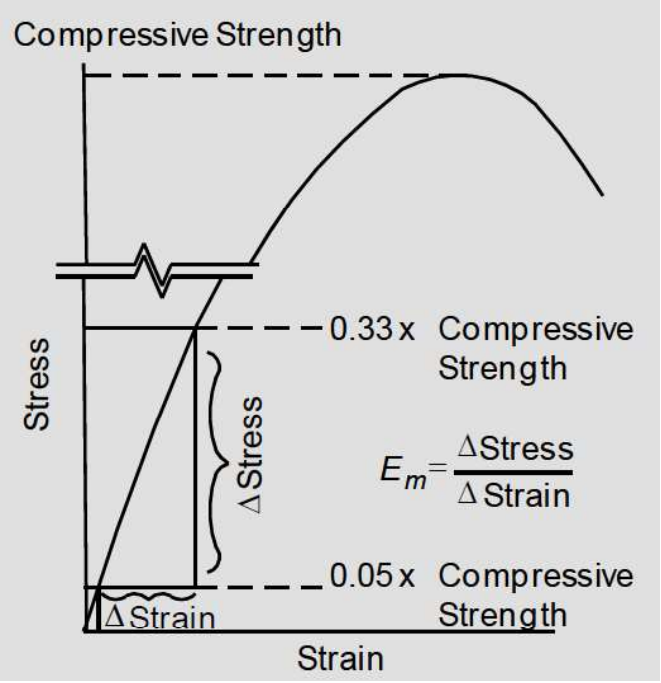

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

### 2.2.2 MÓDULO DE ELASTICIDAD ($E_m$)

La elasticidad de los materiales solidos no es más que la capacidad de deformarse bajo una carga aplicada y restituirse al cesar dicha carga, aunque ningún solido sea perfectamente elástico. En base a este criterio R. Young en 1803 introdujo el módulo de elasticidad denominado también como módulo de Young, aunque la definición actual se deba a L. Navier (1826) (M. Martínez, Museros, Poy, & Romero, 2013).

Para evaluar el módulo de elasticidad se ha empleado diferentes conceptos al no existir una metodología definida para obtener dicho parámetro de la mampostería. La NEC-SE-MP establece que se debe realizar ensayos de compresión de muretes en el laboratorio y calcular valores de módulos secantes a la curva esfuerzo-deformación al $0.05f'_m$ hasta $0.33f'_m$, rangos también estipulados en la ACI 530-13 MSJC.

**FIGURA 2-12:** OBTENCIÓN DEL Em




**FUENTE:** (MSJC, 2013)

En otros casos se calcula el módulo secante al 30% y 60% de la curva esfuerzo-deformación (Crisafulli, 1997).

Pero también, a falta de ensayos experimentales el módulo de elasticidad se puede calcular por la ecuación:

$$E_m = 900 * f'm \qquad \textbf{2-10}$$

### 2.2.3 MÓDULO DE RIGIDEZ A CORTE ($G_m$)

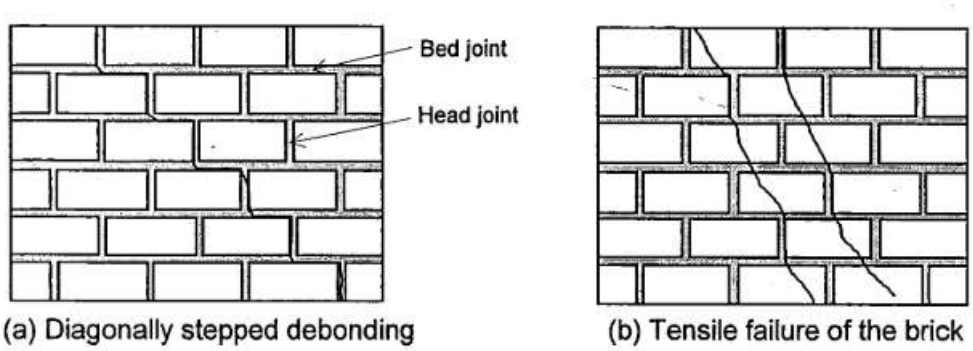
Es la relación de la tensión tangencial o esfuerzo de corte ($\tau$) y su deformación angular ($\gamma$).

$$G_m = \frac{\tau}{\gamma}$$

La resistencia a corte es un parámetro fundamental requerido para diseñar paneles de mampostería que estarán sujetos a cargas laterales provocadas por viento o terremotos generando esfuerzos de corte y también estarán sometidas a cargas por gravedad generando esfuerzos de compresión (M. Martínez et al., 2013).

La resistencia a cortante de la mampostería se analizará mediante la ASTM E519-15. En donde el murete sometido a una carga de compresión diagonal puede presentar los siguientes tipos de falla: Falla por Corte al desunirse las unidades de mampostería con la capa de mortero y Falla por Tracción Diagonal al aparecer las grietas en primer lugar en las unidades de mampostería al ser estas de poca resistencia (Pachano, 2018).

**FIGURA 2-13:** MODOS DE FALLA DE LA MAMPOSTERÍA SOMETIDA A CARGA DE COMPRESIÓN DIAGONAL




**FUENTE:** (Crisafulli, 1997)

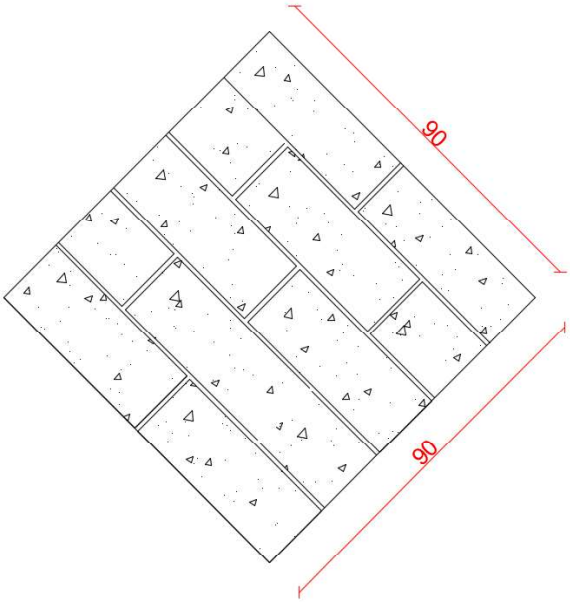
En caso de no contar con ensayos de laboratorio para determinar el módulo de rigidez se puede emplear la siguiente ecuación recomendada en el código MSJC apartado 1.8.2.2.2

$$G_m = 0.4 * E_m \qquad \textbf{2-11}$$

### 2.2.3.1 Dimensionamiento

El murete debe tener un mínimo de cuatro hiladas y la longitud mínima de la arista debe ser 60cm, la altura y longitud de las probetas no deben tener una diferencia mayor a 6 mm; es así como la longitud establecida para este tipo de ensayo es de 90cm de alto por 90cm de largo y 14cm de espesor.

**FIGURA 2-14:** DIMENSIONES DE LOS MURETES A TENSION DIAGONAL




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

### 2.2.3.2 Requisitos para la construccion, curado y refrentado de los muretes

La construcción de los muretes se realizará reflejando las condiciones verdaderas que se tendrá al momento de la construcción; tanto en el material ya sea este el bloque, mortero y grout; como en la mano de obra. Los muretes llevarán grout en todas o una celda en el caso que en la obra también se piense implementarlo. Para

este ensayo la consistencia del mortero, la humedad de los bloques y el trabado entre las juntas desempeñan un papel muy importante (NEC-SE-MP, 2015).

Para el curado de las probetas se procederá de la misma manera empleada para los muretes a compresión.

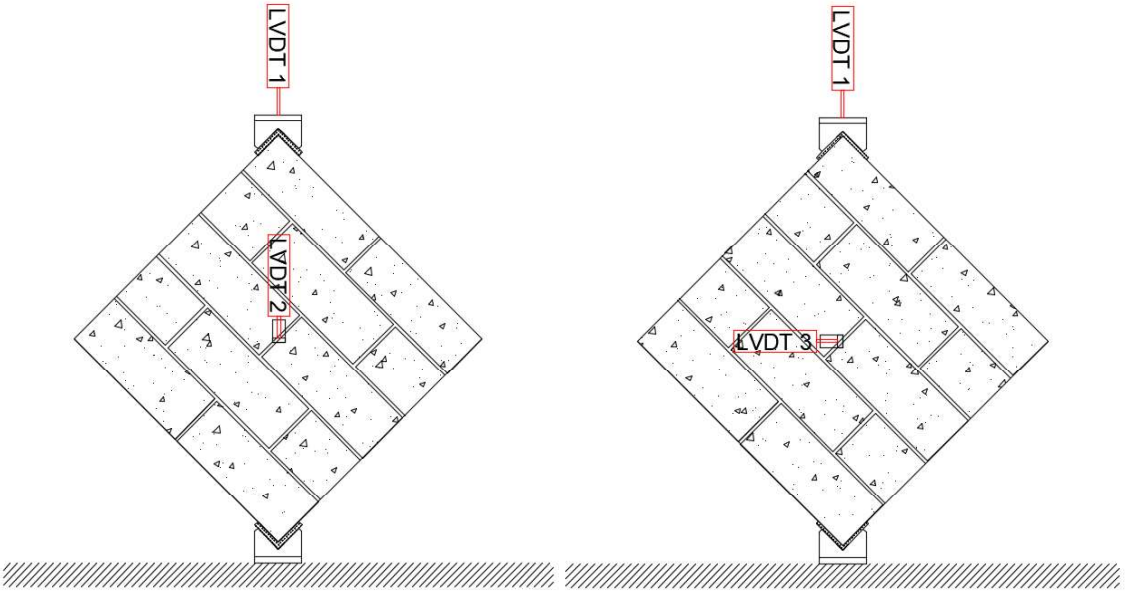
Para el refrentado de las probetas se utilizará una mezcla de cemento y arena fina con una dosificación en volumen de 1:1. Refrentar solo las esquinas que estarán en contacto con los cabezales de carga.

#### 2.2.3.3 Instrumentación

A los muretes se implementará 2 ángulos de acero inoxidable en ambas caras mediante epóxido ubicadas a la altura y longitud media de los prismas.

Se implementarán 3 LVDTS; 2 que estarán apoyados en los ángulos de acero y nos ayudaran a obtener el acortamiento de los muretes en dirección paralela a la carga y la extensión de los muretes en dirección perpendicular a la carga y el último LVDT estará apoyado en la celda de carga.

**FIGURA 2-15:** UBICACIÓN DE LOS LVDTS EN LOS MURETES A TENSIÓN DIAGONAL




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

#### 2.2.3.4 Resultado y análisis de ensayo

Los resultados del ensayo a tensión diagonal se presentarán basados en la norma ASTM E519/519M-15 en donde, aunque se establece que las dimensiones mínimas deben ser 1.2x1.2m se pueden realizar probetas de menores dimensiones adecuándolas a las condiciones de laboratorio.

El esfuerzo de corte se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$S_s = \frac{0.707\ P}{A_n} \qquad \textbf{2-12}$$

Dónde:

Ss= Esfuerzo cortante en el área neta, MPa.

P = Carga aplicada, N

An= Área neta de las probetas.

Para calcular el área neta se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$A_n = \left(\frac{w + h}{2}\right) * tn \qquad \textbf{2-13}$$

Dónde:

W= Ancho del espécimen, mm.

H= Altura del espécimen, mm.

T= Espesor total del espécimen, mm.

N= Porcentaje del área bruta de la unidad que es sólida, expresado como un decimal.

Para calcular la deformación unitaria a corte se utiliza la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{\Delta_x + \Delta_y}{\Delta_g} \qquad \textbf{2-14}$$

Dónde:

Δx= Acortamiento en dirección paralela a la carga, mm.

Δy=Extensión en dirección perpendicular a la carga, mm.

Δg=Longitud calibrada en dirección a la carga, mm.

Por último, se puede calcular el módulo de rigidez de las probetas mediante la siguiente ecuación:

$$G = \frac{S_s}{\gamma} \qquad \textbf{2-15}$$

## 2.3 NORMATIVA NEC-SE-MP MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL

Esta normativa establece “criterios y requisitos mínimos para un correcto diseño y construcción de mampostería estructural”.(NEC-SE-MP, 2015) Se presentan generalidades y normativas que deben cumplir los materiales que constituyen la mampostería estructural (bloques, cemento, mortero de pega, mortero de relleno y acero) para obtener un desempeño correcto de la mampostería ante cargas verticales permanentes y fuerzas laterales (NEC-SE-MP, 2015).

La NEC-SE-MP en los Anexos 10.1 y 10.2 señala las dimensiones mínimas que se deberán tomar en cuenta al momento de construir los prismas y muretes de mampostería estructural, al mismo tiempo las pruebas de laboratorio que se deberán realizar a dichos elementos para obtener experimentalmente la resistencia prismática y el módulo de elasticidad (NEC-SE-MP, 2015).

En caso de no contar con ensayos experimentales en el capítulo 5.3. Módulos de elasticidad y de corte, proporciona fórmulas con las cuales se puede calcular el módulo de elasticidad en base a la resistencia de compresión de la mampostería (NEC-SE-MP, 2015).

## 2.4 NORMATIVA BUILDING CODE REQUIREMENTS AND SPECIFICATION FOR MASONRY STRUCURES

Esta normativa está constituida por dos normas; Building Code Requirements for masonry / Código de Requerimientos de Construcción para Mampostería Estructural y Specification for Masonry Structures / Especificaciones para Mampostería Estructural, desarrolladas por: La Sociedad de Mampostería (TMS 11), Instituto Americano de Concreto (ACI 11), Instituto de Ingeniería Estructural de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (SEI/ASCE 11) mediante la conformación de Comité de Normas de Mampostería (MSJC). La normativa presenta requerimientos mínimos para el diseño y construcción de estructuras de mampostería ya sea reforzada o simple, partiendo desde definiciones hasta un diseño sísmico.

El Building Code Requirements for Masonry Structures en el capítulo 9.1.8 detalla las propiedades de los materiales o componentes de la mampostería estructural, en donde para que la mampostería sea considerada como estructural, es decir, que sea capaz de trabajar como un sistema monolítico resistiendo cargas gravitatorias y sísmicas, la resistencia a compresión ($f'_m$) de la mampostería de concreto debe ser mayor o igual a 10.34 MPa pero menor o igual a 27.58 MPa, estos límites están dados por una investigación realizada por Noland y Kingsley en 1995 (MSJC, 2013).

Otro de los componentes en la mampostería estructural es el hormigón líquido o grout, el mismo que debe alcanzar una resistencia a la compresión ($f'_g$) igual o mayor a la resistencia a compresión de la mampostería señalada anteriormente, pero no debe exceder los 34.47 MPa, con la finalidad de que la resistencia nominal de la mampostería no se vea afectada al momento de que el grout alcance su resistencia máxima a compresión.

## 2.5 MODELOS ANALÍTICOS

### 2.5.1 MODELO ANALÍTICO DE HILSDORF PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

Hubert K. Hilsdorf profesor del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois, en 1969, propuso un modelo analítico para predecir el comportamiento a compresión de la mampostería, basado en postulados, parámetros básicos de los elementos que lo conforman; mampuesto y mortero, y observaciones experimentales (Crisafulli, 1997).

Hipótesis consideradas:

- La envolvente de falla del bloque bajo compresión uniaxial y tensión lateral biaxial es representada por el criterio de falla de Coulomb-Mohr.
- La resistencia del mortero bajo compresión triaxial es similar a la resistencia del concreto.
- La relación entre los esfuerzos laterales $f_{xb}$ (tensión) en el bloque y $f_{xj}$ (compresión) en el mortero puede ser formulado en base a la condición de equilibrio.
- La falla de la mampostería ocurre cuando los esfuerzos de tensión lateral en las grietas de la unidad de mampostería son menores que el esfuerzo necesario para confinar el mortero.

#### 2.5.1.1 Criterio de falla de Coulomb-Mohr

Hilsdorf consideró una relación lineal entre los esfuerzos de compresión y tensión, criterio de Coulomb-Mohr o criterio de fricción interna, permitiendo expresar la envolvente de falla como:

$$\frac{f_x}{f'_{tb}} + \frac{f_y}{f'_{cb}} = 1 \qquad \textbf{2-16}$$

Dónde:

$f_x$ = Valor absoluto del esfuerzo a tensión en dirección X

$f_y$ = Valor absoluto del esfuerzo a compresión en dirección Y

$f'_{tb}$ = Esfuerzo de tensión uniaxial en dirección X del bloque

$f'_{cb}$ = Esfuerzo de compresión uniaxial en dirección Y del bloque

El criterio de Coulomb-Mohr se basa en la envolvente de falla tangente a los círculos de Mohr obtenidos de un ensayo a tensión uniaxial y un ensayo a compresión uniaxial.

#### 2.5.1.2 Comportamiento del bloque bajo compresión uniaxial

Mediante normas técnicas se puede determinar los esfuerzos máximos a compresión ( $f'_{cb}$ ) y tensión ( $f'_{tb}$ ). La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3066 en su anexo E da la pauta para obtener la resistencia máxima a compresión uniaxial mientras que para determinar el esfuerzo máximo de tensión Crisafulli presenta tres métodos; tensión por flexión *(Flexural test),* tracción uniforme *(Uniform tensile test)* y tensión por hendidura *(splitting test)*, siendo esta última la más práctica, realizada bajo la norma ASTM C1006 – 07 "Splitting Tensile Strength of Masonry Units" la cual mediante la ecuación 2-17 se puede determinar los esfuerzos a tensión del bloque:

$$f'_{tb} = \frac{2P}{\pi HL} \qquad \textbf{2-17}$$

Dónde:

$f'_{tb}$ = Resistencia a tensión, kPa

$P$ = Carga máxima aplicada, kN

$H$ = Distancia entre apoyos vertical, mm

$L$ = Distancia entre apoyos horizontal, mm

Según Crisafulli (1997) en un estudio realizado por Hamid y Drysdale determinaron una expresión matemática que relaciona la resistencia a tensión y la resistencia a compresión del bloque expresada en la siguiente ecuación:

$$f'_{tb} = C\sqrt{f'_{cb}} \qquad \textbf{2-18}$$

Determinaron una expresión matemática que relaciona

Dónde:

$f'_{tb}$ = Resistencia a la tensión, MPa

$C$ = Coeficiente de relación y toma un valor de 0.34 (Crisafulli, 1997)

$f'_{cb}$ = Resistencia a la compresión uniaxial, MPa

#### 2.5.1.3 Comportamiento del mortero bajo compresión axial

Para determinar la resistencia a compresión uniaxial del mortero ($f'_j$) existen tanto normas nacionales, NTE INEN 2518, como internacionales, ASTM C109, y responden a un estado de esfuerzos axiales de un material no confinado pero al trabajar el mortero en la mampostería, es decir, interactuar con el bloque, las propiedades del mortero, el comportamiento se modifican debido a que este alcanza un estado de esfuerzos triaxiales, como se explica en la sección 2.5.1.4 debido al confinamiento otorgado por los bloques, así mismo, si se tiene en cuenta que parte del agua es absorbida por el bloque la resistencia del mortero alcanzaría resistencias superiores a las determinadas en el laboratorio.

Con la finalidad de obtener un valor más representativo del estado real del mortero en la mampostería, Richart, Brandtzaeg y Brown obtuvieron, mediante estudios experimentales, la siguiente expresión, que determina la resistencia de los cilindros de concreto a esfuerzos triaxiales (Park & Paulay, 1988), misma expresión que Hilsdorf considera para el estado de esfuerzos triaxial del mortero.

$$f'_1 = f'_c + m\sigma_1 \qquad \textbf{2-19}$$

Dónde:

$f_1'$ = Resistencia a compresión del cilindro de concreto confinado

$f_c'$ = Resistencia a compresión uniaxial del cilindro de concreto no confinado

$\sigma_1$ = Presión de confinamiento lateral

$m$ = Factor de confinamiento.

El factor de confinamiento, $m$, Hilsdorf asumió un valor de 4.1, valor determinado por Richart, Brandtzaeg y Brown, sin embargo, se han determinado un rango de 4.5 a 7.0 mediante pruebas efectuadas por Balmer (Park & Paulay, 1988).

Crisafulli (1997) en su investigación menciona que Ohler también realizó investigaciones en este campo a diferentes tipos de morteros determinando un rango de variación del factor de confinamiento, $(m)$, dependiendo de la resistencia a compresión uniaxial como se indica en la tabla 2-19.

**TABLA 2-19:** COEFICIENTE DE CONFINAMIENTO PROPUESTO POR OHLER

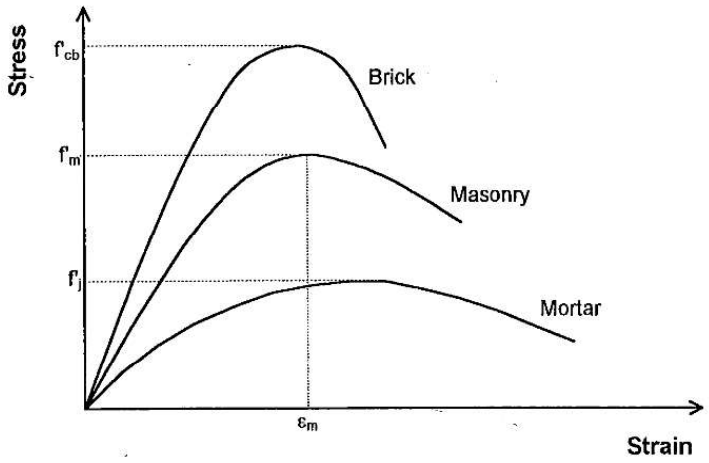
| f'm (MPa) | m |
|---|---|
| 6 | 2.1 |
| 15 | 2.4 |
| 21 | 3.6 |
| 32 | 5.3 |

**FUENTE:** (Crisafulli, 1997)

#### 2.5.1.4 Comportamiento de la mampostería bajo compresión

Al trabajar el mortero conjuntamente con el bloque el comportamiento mecánico discierne al de sus elementos independientes, esto se puede apreciar en la figura 2-16 en la cual se presenta las curvas esfuerzos-deformación del mortero y bloque individualmente y la curva de la mampostería.

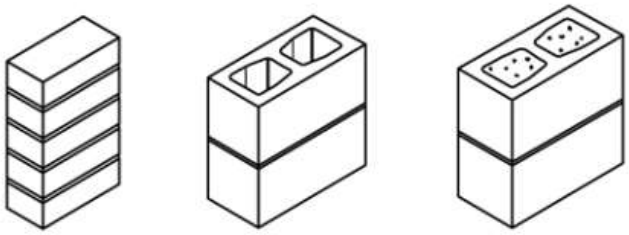
**FIGURA 2-16:** CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN TÍPICA DE MORTERO, BLOQUE Y MAMPOSTERÍA




**FUENTE:** (Crisafulli, 1997)

Para determinar la resistencia a compresión ($f'_m$) de la mampostería por lo general se construyen prismas de entre 4 a 5 hileras, apiladas una sobre otra, como se muestra en la figura 2-17.

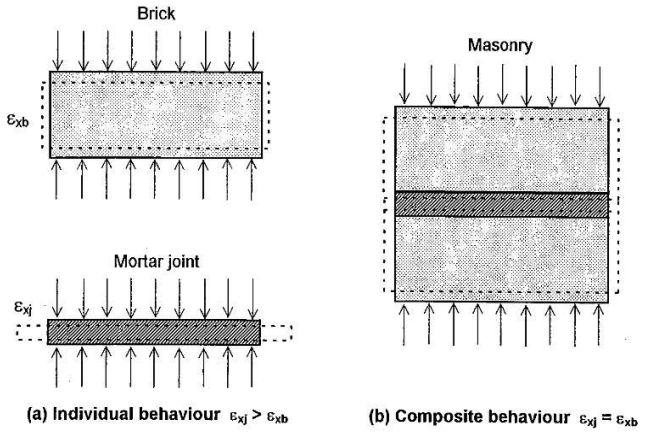
**FIGURA 2-17:** PRISMAS DE MAMPOSTERÍA



**FUENTE:** (ASTM C1314, 2016)

Si se somete a compresión axial al mortero y a la unidad de bloque, individualmente, los materiales tienden a expandirse lateralmente, siendo la deformación lateral del mortero mayor que la del bloque, ver figura 2-18a, debido a que su módulo de Poisson es mayor (Pachano, 2018).

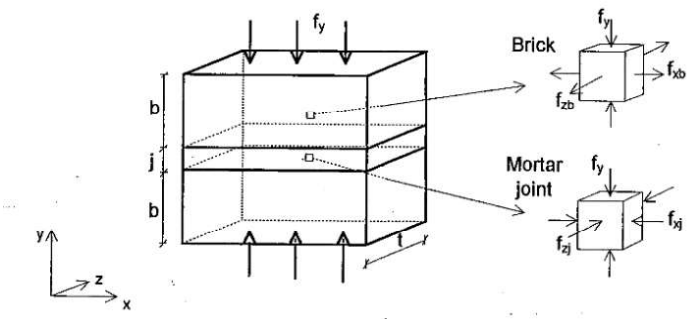
**FIGURA 2-18:** DEFORMACIONES LATERALES DEL BLOQUE, MORTERO Y MAMPOSTERÍA




**FUENTE:** (Crisafulli, 1997)

Al trabajar conjuntamente la unidad de mampostería y el mortero, las deformaciones laterales del bloque, restringen las deformaciones del material más deformable, mortero, limitándose a ser iguales debido a la fricción entre las caras del bloque-mortero, como se ilustra en la figura 2-18b, e induciendo al mortero a un estado de esfuerzos de compresión triaxial, esfuerzos de compresión axial y tensión lateral al bloque, como lo muestra la figura 2-19 (Tena Colunga & Miranda, 2003), Además, Hilsdorf en su investigación determinó que mientras menor resistencia a la compresión tenga el mortero se generará esfuerzos de tensión lateral mayores en el bloque.

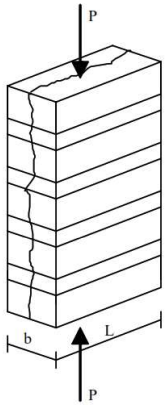
**FIGURA 2-19:** ESTADO DE ESFUERZOS DEL BLOQUE Y EL MORTERO CUANDO LA RESISTENCIA DEL MORTERO ES MENOR QUE EL BLOQUE




**FUENTE:** (Crisafulli, 1997)

El modo de falla que se produce sobre la mampostería depende en gran parte de la resistencia con respecto al bloque, es decir, si el mortero es más débil o fuerte que el bloque (Tena Colunga & Miranda, 2003). Una de las fallas más comunes es la falla por tracción lateral producido por las grietas verticales desarrolladas en el bloque debido al incremento de las deformaciones laterales gracias a la interacción con el mortero y produciendo inestabilidad de la mampostería hasta su falla.

**FIGURA 2-20:** FALLA TÍPICA POR TRACCIÓN LATERAL




**FUENTE:** (Tena Colunga & Miranda, 2003)

#### 2.5.1.5 Procedimiento analítico de hilsdorf para determinar la resistencia a compresión de la mampsotería

Partiendo de la distribución de esfuerzos laterales del bloque y del mortero bajo un esfuerzo longitudial aplicado, Hilsdorf asumió que los esfuerzos laterales se distribuyen uniformememente en el eje vertical como lo indica la figura 2-21, y en base a un equilibrio de fuerzas entre la cara mortero-bloque, tomando en cuenta un ancho colaborante de la mitad de la altura del bloque, obtuvo la la siguente ecuación:

$$f_{xj} * j + f_{xb} * b = 0 \qquad \textbf{2-20}$$

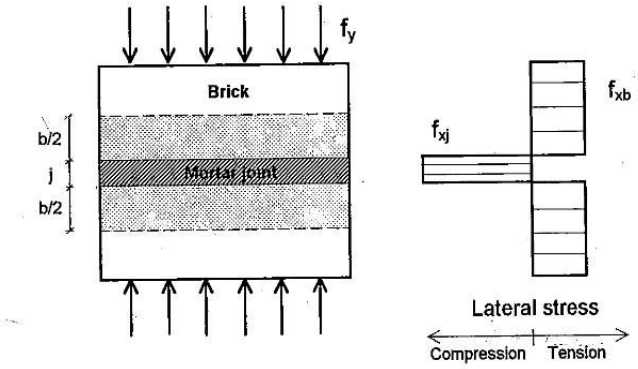
Dónde:

$f_{xj}$ = Esfuerzo lateral de compresión en el mortero de pega

$f_{xb}$ = Esfuerzo lateral de tensión en el bloque

$j$ , $b$ = Altura del mortero y bloque, respectivamente

**FIGURA 2-21:** DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS LATERALES ASUMIDOS POR HILSDORF




**FUENTE:** (Hilsdorf, 1969)

Para expresar analíticamente la no uniformidad de los esfuerzos en dirección de la carga aplicada a la mampostería, Hilsdorf introdujo el coeficiente de no uniformidad, $\mathrm{U}$, que relaciona el esfuerzo normal máximo a través del ancho del bloque y el esfuerzo normal promedio que actúa en la mampostería.

Si la concentración de esfuerzos locales es el único parámetro que afecta la resistencia a compresión de la mampostería, entonces la falla ocurriría tan pronto como:

$$f_y = U * f_{ym} \qquad \textbf{2-21}$$

Dónde:

$\mathrm{f_y}$ = Esfuerzo a compresión en dirección Y en el bloque

$\mathrm{U}$ = Coeficiente de no uniformidad

$\mathrm{f_{ym}}$ = Esfuerzo promedio aplicado sobre el bloque

El coeficiente de no uniformidad generalmente toma un valor de 1.5 según Hilsdorf, de un rango entre 1.35 y 2.18.

De la ecuación 2-20 se obtiene:

$$f_{xj} = \frac{f_{xb} * b}{j} \qquad \textbf{2-22}$$

Considerando la ecuación 2-19 para el mortero confinado y que la presión de confinamiento lateral ($\sigma_1$) es igual al valor absoluto del esfuerzo lateral de compresión del mortero ($f_{xj}$) se tiene:

$$f'_{cj} = f'_j + m * f_{xj} \qquad \textbf{2-23}$$

Dónde:

$f'_{cj}$ = Resistencia a la compresión del mortero confinado

$f'_j$ = Resistencia a la compresión uniaxial del mortero

$f_{xj}$ = Esfuerzo lateral de confinamiento del mortero

$m$ = Factor de confinamiento

Si se remplaza la ecuación 2-22 en 2-23:

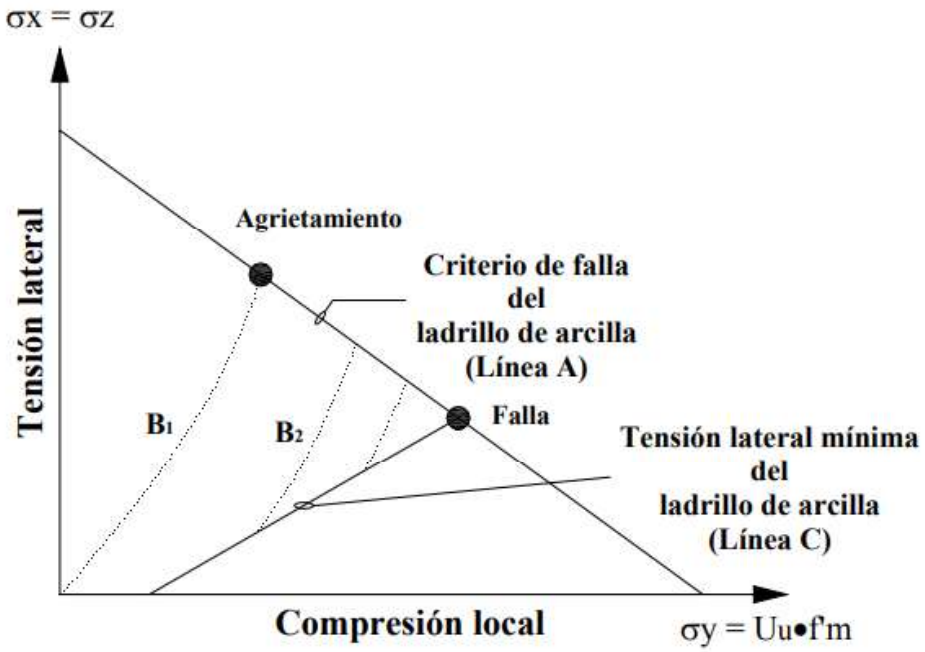
$$f'_{cj} = f'_j + m * \frac{f_{xb} * b}{j}$$

$$f_{xb} = \alpha(f'_{cj} - f'_j) \qquad \textbf{2-24}$$

Dependiendo del factor de confinamiento m se tendrá la constante $\alpha = \frac{j}{m*b}$

Una de las principales hipótesis planteadas de Hilsdorf es la envolvente de falla del bloque, esta envolvente está representada por el criterio de Coulomb-Mohr, quien considera una relación lineal entre los esfuerzos de compresión y tensión, asumiendo este criterio debido a la falta de información sobre el comportamiento del bloque bajo esfuerzos triaxiales. En la figura 2-22 la envolvente de falla está representada por la línea A, asumiendo que los esfuerzos laterales en dirección X son iguales a los esfuerzos laterales en dirección Z del bloque.

**FIGURA 2-22:** CRITERIO DE FALLA DE LA MAMPOSTERÍA SEGÚN HILSDORF




**FUENTE:** (Hilsdorf, 1969)

Si la mampostería está sujeta a compresión a través de una carga externa, se desarrollará esfuerzos laterales siguiendo la línea punteada $B_1$, si esta línea se cruza con el criterio de falla del bloque, es decir, con la línea A, se formará la primera grieta en dirección paralela a la carga aplicada, en la sección agrietada los esfuerzos laterales disminuyen. Si la carga aplicada sigue aumentando y sobrepasa la resistencia a compresión uniaxial entonces el mortero está lateralmente confinado, actuando sobre este, esfuerzos laterales de compresión mínimos. Para contrarrestar estos esfuerzos de compresión lateral, en las secciones no agrietadas se desarrollan esfuerzos de tensión lateral representadas en por la línea C en la figura 2-22.

Mientras la carga externa siga aumentando, el esfuerzo mínimo para el confinamiento del mortero aumenta y continuamente desarrollando esfuerzos en las secciones no agrietadas, siguiendo la línea punteada $B_2$, así sucesivamente hasta que la línea C cruza con la línea A y se produzca el fallo de la mampostería.

Es así como Hilsdorf (1969) deduce que: “En las mejores condiciones, la falla de la mampostería ocurre cuando la resistencia a la tensión lateral del bloque es menor a los esfuerzos necesarios para confinar al mortero”.

La linea A , envolvente de falla del bloque, es expresada matemáticamente a partir de la ecuación 2-16:

$$\mathrm{f_x} = \mathrm{f_z} = \mathrm{f'_{tb}}\left[1 - \frac{\mathrm{f_y}}{\mathrm{f'_{cb}}}\right] \qquad \textbf{2-25}$$

Dónde:

$\mathrm{f_x}, \mathrm{f_z}, \mathrm{f_y} =$ Esfuerzos en dirección X, Z, Y respectivamente

$\mathrm{f'_{tb}} =$ Resistencia a tensión del bloque

$\mathrm{f'_{cb}} =$ Resistencia a compresión uniaxial del bloque

La linea C puede ser representada por la ecuación 2-24, en términos de esfuerzos minimos para el confinamiento del mortero producidos por el bloque.

$$f_x = \alpha(f_y - f'_j) \qquad \textbf{2-26}$$

Por lo tanto, si se combina la ecuación 2-25 y la ecuación 2-26 se tendrá la maxima magnitud de esfuerzo local producido al fallar la mampostería, correspondiendo al punto de intresección de la linea A y C.

$$f_y = f'_{cb}\,\frac{f'_{tb} + \alpha * f'_j}{f'_{tb} + \alpha * f'_{cb}} \qquad \textbf{2-27}$$

Tomando en cuenta el coeficiente de no uniformidad de la ecuación 2-21, se podrá determinar la resistencia máxima a compresión de la mampostería.

$$\mathrm{f_{ym}} = \mathrm{f'_m} = \frac{\mathrm{f_y}}{\mathrm{U}} \qquad \textbf{2-28}$$

Así Hilsdorf obtuvo una expresión matemática que permita predecir la resistencia maxima a compresión de la mampostería, tomando en cuenta unicamente los estados de esfuerzos a los que estan sometidos el mortero y bloque bajo una carga externa de compresión.

$$f'_m = \frac{f'_{cb}}{U} \frac{f'_{tb} + \alpha * f'_j}{f'_{tb} + \alpha * f'_{cb}} \qquad \textbf{2-29}$$

$$\alpha = \frac{j}{m*b}$$

Dónde:

$f'_m$ = Resistencia a la compresión de la mampostería específica o de diseño, MPa

$f'_{cb}$ = Resistencia a compresión del bloque, MPa

$f'_{tb}$ = Resistencia a tensión del bloque, MPa

$f'_j$ = Resistencia a compresión uniaxial del mortero, MPa

$U$ = Coeficiente de no uniformidad, adimensional

$j$ = Altura de la capa de mortero, mm

$b$ = Altura del bloque, mm

$m$ = Coeficiente de confinamiento, adimensional

Paulay T. y Priestley M.J.N determina la ecuación 2-29 para mampostería con bloques de arcilla que contengan celdas de hormigón líquido en la cual parte de la ecuación para determinar la resistencia a compresión propuesta por Hilsdorf en la ecuación 2-28 (Paulay, T., Priestley, 1993).

$$f'_m = \emptyset\left[x\, f''_m + (1-x)\ f'_g\right] \qquad \textbf{2-30}$$

Dónde:

$f'_m$ = Resistencia a compresión de la mampostería específica o de diseño

$f'_g$ = Resistencia a compresión del grout

$f''_m$ = Resistencia a compresión determianda medainte la ecuación 2-28, Hilsdorf

x = Relación entre el área neta y el área bruta del prisma

∅ = Factor que puede tomar un valor de 0.75 para valores de diseño según el autor

Posteriormente la norma colombiana "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente título D (NSR-10) – Mampostería" (2010), realizó una modificación de la ecuación propuesta por Paulay y Priestley para bloques de hormigón obteniendo la siguiente ecuación.

$$f'_m = 0.75\left[1.3\,x\,f''_m + 0.9\,k_r(1-x)\,f'_g\right] \leq 1.25 f''_m \qquad \textbf{2-31}$$

Dónde:

$f'_m$ = Resistencia a compresión de la mampostería específica o de diseño, MPa

$f'_g$ = Resistencia a compresión del grout, MPa

$f''_m$ = Resistencia a compresión determianda medainte la ecuación 2-28, Hilsdorf

x = Relación entre el área neta y el área bruta del prisma, adimencional

$k_r$ = Factor de corrección por absorción del bloque, adimensional, el autor recomienda 0.9 para unidades de concreto

### 2.5.2 MODELO ANALÍTICO DE PRIESTLEY M. Y ELDER D. PARA DETERMINAR LAS CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN

Poder determinar la curva esfuerzo-deformación de la mampostería es uno de los parámetros fundamentales necesarios para poder comprender la ductilidad y determinar el módulo de elasticidad, datos necesarios para un diseño correcto y optimo. Priestley y Elder en 1982 se centraron en estudiar las características de esta curva dentro del programa que investiga la ductilidad de paredes de mampostería esbeltas sujetas a corte (Priestley & Elder, 1982).

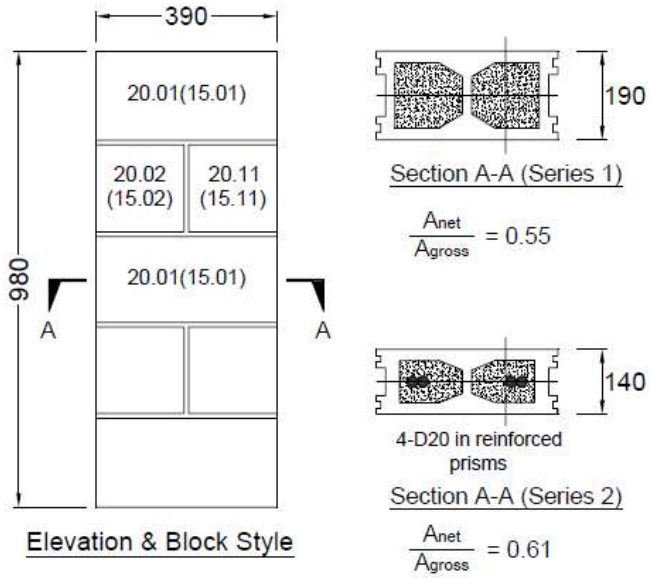
### 2.5.2.1 Etapa experimental de la investigación

En esta investigación se estudiaron las siguientes variables:

- Espesor de los bloques de mampostería
- La velocidad de la carga
- La influencia del refuerzo vertical
- La influencia de las placas de confinamiento en las juntas horizontales y verticales del mortero.

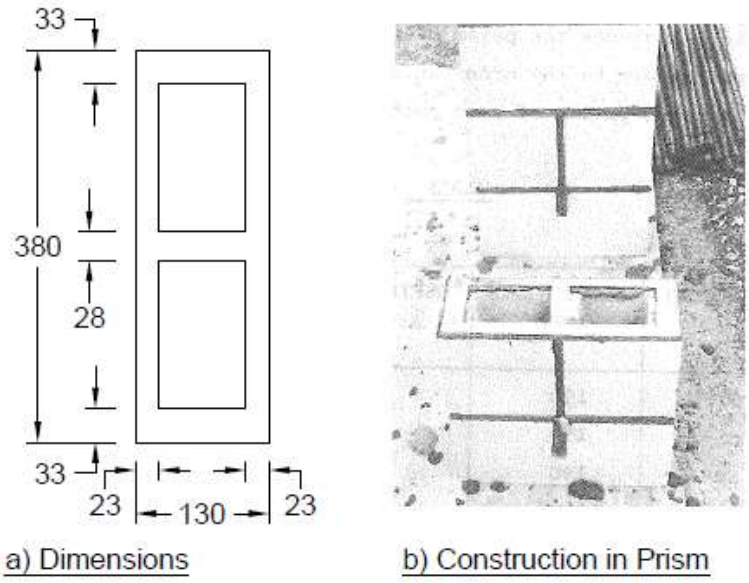
La investigación consistió en construir 21 prismas de mampostería, 6 prismas con bloques de espesor de 190mm (Serie 1) y 15 prismas con bloques de espesor de 140mm (Serie 2). Los ensayos fueron llevados a cabo en prismas de cinco hiladas los cuales consistieron en un bloque entero y dos mitades de bloques; los prismas de la Serie 2 tienen placas de confinamiento de acero inoxidable en las juntas de mortero y también se incluyó refuerzo vertical en las celdas, como mortero líquido (Priestley & Elder, 1982).

**FIGURA 2-23:** DIMENSIONES DE LOS PRISMAS (mm)




**FUENTE:** (FLORES, 2010b)

**FIGURA 2-24:** PLACAS DE CONFINAMIENTO DE LAS JUNTAS DEL MORTERO (mm)




**FUENTE**: (FLORES, 2010b)

En la tabla 2-20 se muestra las propiedades de los materiales constituyentes con los que fueron construidos cada prisma de mampostería.

**TABLA 2-20:** PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

| MATERIAL | | SERIE 1 | SERIE 2 |
|---|---|---|---|
| Bloque | f´c (MPa) | 38.2 | 38.2 |
| Mortero | f´c (MPa) | 11.4 | 8.4 |
| Grout | f´c (MPa) | 27.8 | 36.6 |
| Refuerzo D20 | fy (MPa) | - | 300 |
| | Es (MPa) | - | 195 |
| Acero inoxidable | fy* (MPa) | - | 335 |
| Placa de confinamiento | Es (GPa) | - | 159 |

*Valor correspondiente cuando la deformación es 1%

**FUENTE:** (Priestley & Elder, 1982)

Las probetas fueron ensayadas a dos velocidades diferentes: una lenta (0.0005 %ε/s) y una rápida (0.6 %ε/s). En la tabla 2-21 se presenta el detalle de los prismas y la velocidad de ensayo.

**TABLA 2-21:** DETALLE DE LOS ENSAYOS DE LOS PRISMAS

| ESPÉCIMEN | ANCHO DEL BLOQUE (mm) | PLACAS DE CONFINAMIENTO (3.1 mm Acero Inoxidable 304) | REFUERZO 4D20 | VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN (%ε/s) | CARGA MÁXIMA (KN) |
|---|---|---|---|---|---|
| S1-1 | 190 | NO | NO | 0.0005 | 1.999 |
| S1-2 | 190 | | | 0.0005 | 1.925 |
| S1-3 | 190 | | | 0.0005 | 2.005 |
| S1-4 | 190 | | | 0.6 | 2.31 |
| S1-5 | 190 | | | 0.6 | 2.4 |
| S1-6 | 190 | | | 0.6 | 2.29 |
| | | | | | |
| S2-1 | 140 | No | No | 0.5 | 1.84 |
| S2-2 | 140 | Si | No | 0.5 | 1.9 |
| S2-3 | 140 | Si | No | 0.5 | 1.765 |
| S2-4 | 140 | No | Si | 0.0005 | 1.39* |
| S2-5 | 140 | Si | Si | 0.0005 | 1.754* |
| S2-6 | 140 | No | No | 0.5 | 1.8 |
| S2-7 | 140 | Si | No | 0.0005 | 1.633 |
| S2-8 | 140 | Si | No | 0.5 | 1.251* |
| S2-9 | 140 | No | Si | 0.5 | 2.178 |
| S2-10 | 140 | Si | Si | 0.5 | 2.35 |
| S2-11 | 140 | No | No | 0.0005 | 1.47 |
| S2-12 | 140 | Si | No | 0.5 | 1.9 |
| S2-13 | 140 | Si | No | 0.0005 | 1.652 |
| S2-14 | 140 | No | Si | 0.0005 | 1.908 |
| S2-15 | 140 | Si | Si | 0.0005 | 2.085 |

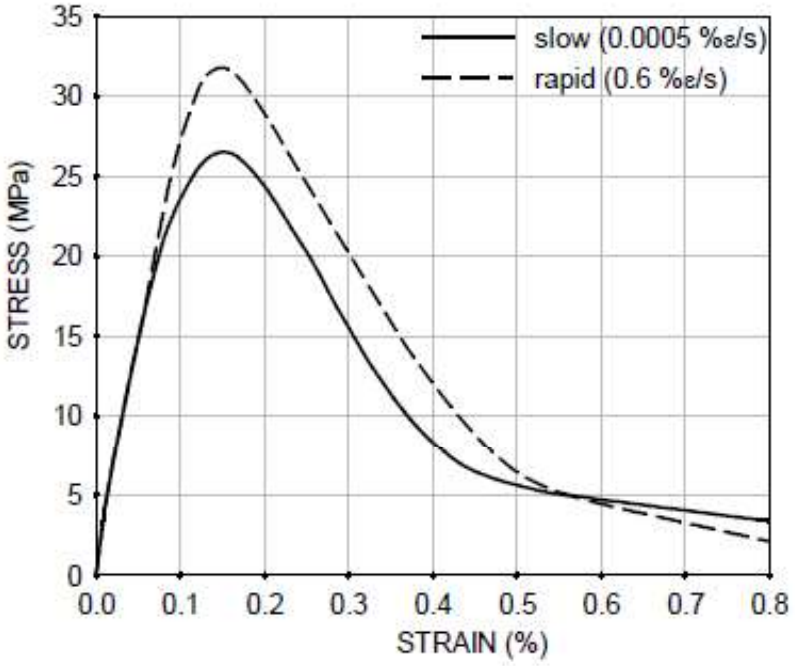
*Prismas con huecos severos en el Grout, resultados descartados

**FUENTE:** (Priestley & Elder, 1982)

Los prismas de mampostería a desarrollarse en este proyecto de investigación estarán constituidos únicamente por unidades de mampostería, mortero y grout, configuración correspondiente a la Serie 1.

Los resultados de las probetas ensayadas a alta y baja velocidad se presentan en la figura 2-25, en donde se puede apreciar que la curva esfuerzo-deformación varía en su rama descendente a partir de deformaciones superiores al 0.004 y alcanza el esfuerzo máximo a una deformación menor del 0.002.

**FIGURA 2-25:** CURVA PROMEDIO ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE LA SERIE 1 PARA BAJA Y ALTA VELOCIDAD DE CARGA.



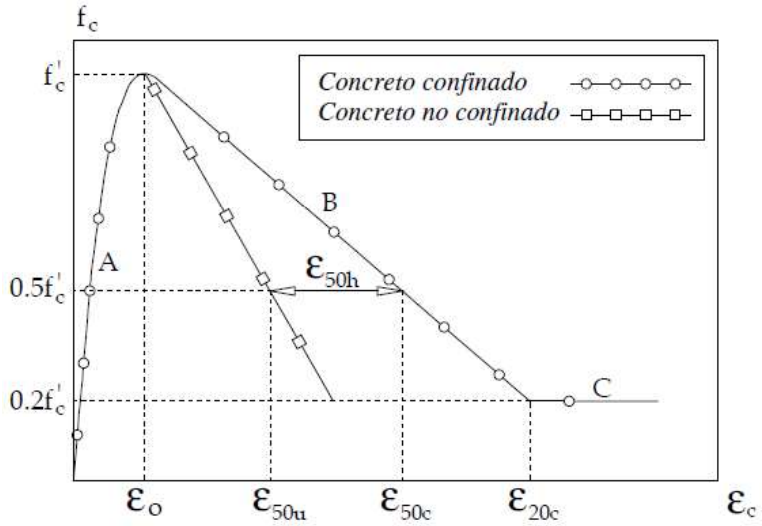

**FUENTE:** (FLORES, 2010b)

#### 2.5.2.2 Planteamiento del modelo analítico de Priestley M. y Elder D.

Priestley y Elder al observar que los diagramas de esfuerzo-deformación obtenidos de los ensayos son similares a los diagramas del concreto reforzado, utilizaron el modelo de Park modificado propuesto en 1982, siendo el modificado del modelo de Kent y Park desarrollado en 1971, el cual considera que el confinamiento no solo incrementa la deformación si no también los esfuerzos, incremento definido por un valor K (Escamilla, 2010) .

La curva está formada por tres regiones (A, B y C). El tramo A es una curva ascendente parabólica de segundo grado y en este tramo no se presenta aún el fenómeno de confinamiento siendo similar al concreto simple; este intervalo está definido en ($0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_o$), el tramo B es descendente y lineal inicia cuando la probeta alcanza su resistencia máxima y concluye al llegar al 80% de degradación de la resistencia ($\varepsilon_o \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{20c}$), en el tramo C la probeta ya no absorbe fuerzas de compresión pero si existen deformaciones ($\varepsilon > \varepsilon_{20c}$) (Moreno, 2017).

**FIGURA 2-26:** CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN (KENT Y PARK)




**FUENTE:** (Escamilla, 2010)

El modelo de Kent y Park modificado presenta las siguientes ecuaciones para la curva esfuerzo-deformación en cada tramo.

Tramo ascendente

$$0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_o$$

$$f_m = k\, f'_{mi} * \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_o\, k} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o\, k}\right)^2\right] \qquad \textbf{2-32}$$

$$k = 1 - \rho_s \frac{f_{yh}}{f'_m}$$

Dónde:

$f_m$ = Resistencia a compresión específica según Kent y Park modificado, MPa

$f'_{mi}$ = Resistencia a compresión asociada a una deformación $i$, MPa

$\varepsilon_o$ = Deformación alcanzada por el esfuerzo máximo, adimensional

$\varepsilon_c$ = Deformación alcanzada por $i$ esfuerzo, adimensional

$\rho_s$ = Cuantía de acero, adimensional

$f_{yh}$ = Resistencia a tensión del acero, MPa

Tramo descendente:

$$f_{CB} = f'_{mi} * [1 - Z\,(\varepsilon_c - \varepsilon_o)]\,; \varepsilon_o \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{20c} \qquad \textbf{2-33}$$

Dónde:

$f'_{mi}$ = Resistencia a compresión asociada a una deformación $i$ del cilindro de hormigón no confinado

$\varepsilon_o$ = Esfuerzo máximo alcanzado por la probeta.

$$z = \frac{1}{2(\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_o)} \qquad \textbf{2-34}$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + \varepsilon_o f'_m}{f_{co} - 1000} \qquad \textbf{2-35}$$

$$\varepsilon_{50h} = \frac{3}{4} * \rho_s * \sqrt{\frac{b_c}{s}} \qquad \textbf{2-36}$$

"$b_c$" es la dimensión lateral del centro del confinamiento y "s" es el espaciamiento longitudinal del acero de confinamiento.

Priestley, N. y Elder, D. determinaron que en el máximo esfuerzo presentó una deformación de 0.0015, aunque el autor destaca que la mampostería puede llegar a deformaciones tan altas como 0.005, el modelo modificado de Kent y Park predice una deformación máxima de 0.002 que corresponde a una deformación ideal. Como el tramo de interés en esta investigación corresponde el tamo elástico o curva ascendente de la ecuación 2-32 y que la mampostería es no confinada, tenemos:

$$f_m = (1)\, f'_{mi} * \left[\frac{2\,(0.0015)}{0.002\,(1)} - \left(\frac{0.0015}{0.002\,(1)}\right)^2\right]$$

$$f'_{mi} = \frac{f_m}{0.9375}$$

Por lo tanto, la curva elástica queda definida mediante la siguiente ecuación 2-37 propuesta por Priestley, N. y Elder, D. tomando en cuenta los límites.

Tramo ascendente:

$0 \leq \varepsilon_c \leq 0.0015$

$$f_m = 1.067 * f'_{mi} * \left[\frac{2\varepsilon_c}{0.002} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.002}\right)^2\right]; \quad \textbf{2-37}$$

## 2.6 DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE ESPECIMENES A ENSAYAR

Según el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN en varias de sus normas enfocadas al estudio de materiales y mampostería establecen que el número mínimo de probetas o especímenes a realizarse y ensayarse debe ser de 3.

Sin embargo, para obtener datos confiables en este proyecto se aplicará los estudios obtenidos en el libro "Estadística para investigadores realizado por Francisco Zimmermann". En donde se plantea la siguiente ecuación:

$$n = \frac{w - w^2 . Z_\beta + 1{,}4 . {Z_\alpha}^2}{w^2} \quad \textbf{2-38}$$

Dónde:

W = Rendimiento mínimo esperado, eficiencia mínima esperada o diferencia mínima observable.

n = Número mínimo de muestras, observaciones o réplicas que deben efectuarse en el estudio.

Zα = Valor correspondiente al nivel de confianza asignado (Riesgo de cometer un error tipo I).

**TABLA 2-22**: NIVELES DE CONFIANZA α

| VALORES DE $Z_\alpha$ | | |
|---|---|---|
| **α** | **NIVEL DE CONFIANZA (1-α) %** | $Z_\alpha$ |
| 0.05 | 95 | 1.96 |
| 0.025 | 97.5 | 2.24 |
| 0.01 | 99 | 2.576 |

**FUENTE:** (Zimmermann, 2004)

Zβ = Valor correspondiente al poder estadístico o potencia asignada a la prueba (Riesgo de cometer un error tipo II).

**TABLA 2-23:** NIVELES DE CONFIANZA β

| VALORES DE $Z_\beta$ | | |
|---|---|---|
| **β** | **PODER ESTADÍSTICO (1-β) %** | $Z_\beta$ |
| 0.2 | 80 | 0.842 |
| 0.15 | 85 | 1.036 |
| 0.1 | 90 | 1.282 |

**FUENTE:** (Zimmermann, 2004)

Debido a que en este proyecto se esperan resultados confiables, los valores de los errores tipo α y tipo β serán menores con un rendimiento del 95%. De donde el número de probetas a realizarse son:

$$n = \frac{0.95 - 0.95^2 * 0.842 + 1.4 * 1.96^2}{0.95^2} \rightarrow \boldsymbol{n = 6}$$

## 2.7 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS EXPERIMENTALES

La estadística es una de las herramientas fundamentales para el tratamiento de datos generados por una investigación teórica o práctica, ayudando a procesar

sintetizar y presentar conclusiones de un conjunto de información cuantitativa (Salazar & Del Castillo, 2018).

Basándose en la estadística inferencial, es decir, mediante resultados obtenidos en los ensayos de una muestra establecen valores de los parámetros generales, se procederá a tabular los datos obtenidos en el capítulo 3, tanto en los ensayos individuales (ensayos en los bloques, propiedades de los agregados, ensayo de cilindros de mortero, ensayo de prismas de hormigón líquido), como también para los ensayos de muretes y prismas de mampostería.

Existen algunas normas como la norma NTCM-RCDF-14 (Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, México) la cual presenta la ecuación 2-38, para el tratamiento de datos como ensayos de cilindros, prismas de grout, muretes y prismas de mampostería (NTCM-RCDF, 2004).

$$x'_m = \frac{m_x}{1 + 2.5c_x} \qquad \textbf{2-39}$$

Dónde:

$x'_m$: Valor de diseño o valor específico

$m_x$: Valor promedio de los ensayos

$c_x$: Coeficiente de variación que relaciona desviación estándar para la media de los ensayos, $c_x = {\sigma_x}/{x_m}$

Sin embargo, el número de muestras que se debe realizar para poder utilizar la ecuación 2-39 varía entre 30 a 9 unidades.

La media aritmética es una medida de tendencia central y ayuda a obtener un valor representativo de un grupo de datos, sobre todo cuando el número de datos son menores a 10 y no existe una gran dispersión con respecto a la media.

Uno de los parámetros que nos ayuda determinar el grado de dispersión y la aceptabilidad de los datos es el coeficiente de variación (Cv), que no es nada más que la relación entre la desviación estándar para la media, el cual, si es menor al 80% la media es representativa del conjunto de datos, los datos son homogéneos,

caso contrario se trata de datos heterogéneos y su media no es representativa, en este caso se debe trabajar con un número mayor de muestras (Salazar & Del Castillo, 2018).

Otra norma que establece criterios de aceptación y tratamiento de datos para ensayos experimentales es la norma colombiana "Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente título D (NSR-10) – Mampostería" (2010), la cual presenta en el apartado D.3.7.3 la determinación estadística de la resistencia a la compresión de los prismas y muretes; en donde se presentan los valores de $\overline{f'_m}$ validos dependiendo del número de probetas realizadas y ensayas.

- Si el número de probetas ensayas son más de 30 se toma el 85% del valor correspondiente del $\overline{f'_m}$.
- Si el número de probetas ensayas son mayores a 10 pero menores a 30 se toma el 80% del valor correspondiente del $\overline{f'_m}$.
- Si el número de probetas ensayas son mayores a 3 pero menores a 10 se toma el 75% del valor correspondiente del $\overline{f'_m}$

$$f'_m = z\,\overline{f'_m} \qquad \textbf{2-40}$$

Dónde:

$f'_m$ = Resistencia específica a compresión o de diseño

$\overline{f'_m}$ = Media de la resistencia a compresión corregida por esbeltez.

$z$ = Factor de corrección estadístico, en fracción

# CAPÍTULO III

# ENSAYOS EXPERIMENTALES

En este capítulo se presentan los ensayos realizados sobre cada elemento constituyente de la mampostería, como también del conjunto. El objetivo de este proceso es obtener la resistencia a compresión de la mampostería para lo cual se utilizó las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) y el Centro de Investigación de la Vivienda (CIV).

## 3.1 ENSAYOS INDIVIDUALES

### 3.1.1 ENSAYO DE BLOQUE INOVA TK

El bloque Inova Tk fue sometido a ensayos básicos necesarios para caracterizarlo según la NTE INEN 3066, al ser un bloque relativamente nuevo y carecer de todo tipo de información técnica, por lo tanto, se procedió a realizar ensayos de resistencia a compresión uniaxial, densidad, dimensionamiento y absorción.

#### 3.1.1.1 Dimensiones del bloque

En base a lo propuesto en la sección 2.6 se procedió a muestrear 6 bloques y empleando un calibrador con una precisión de 0.01mm se procedió a tomar las dimensiones principales (LARGO, ANCHO, ALTURA) según la nomenclatura de la figura 2-4, obteniendo la siguiente tabla.

**TABLA 3-1:** DIMENSIONES REALES DEL BLOQUE

| LARGO (l) (mm) | | | ANCHO (a) (mm) | | | ALTURA (h) (mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 430.00 | 431.00 | 430.50 | 140.40 | 141.00 | 140.90 | 177.20 | 175.00 | 176.10 |
| 430.30 | 432.60 | 431.45 | 140.30 | 140.20 | 140.20 | 178.00 | 178.80 | 178.40 |
| 431.90 | 432.00 | 431.95 | 139.40 | 139.20 | 139.00 | 177.00 | 175.70 | 176.40 |
| 432.10 | 433.50 | 432.80 | 141.00 | 140.20 | 139.60 | 175.10 | 175.70 | 175.40 |
| 432.60 | 432.30 | 432.45 | 140.40 | 140.40 | 140.20 | 177.05 | 178.00 | 177.50 |
| 432.40 | 433.40 | 432.90 | 139.40 | 139.40 | 139.40 | 175.60 | 175.40 | 175.50 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

Las dimensiones expuestas en la tabla que precede no toman en cuenta las muescas superiores ni laterales del bloque.

En la NTE INEN 3066 sección 5.1.2.2 se presenta la tabla 3-2 en la cual constan las dimensiones modulares y nominales con una medida modular M igual a 10mm, bloque de 44MX15MX18M.

**TABLA 3-2:** DIMENSIONES MODULARES Y NOMINALES DEL BLOQUE

| DIMENSIONES MODULARES (nM) | | | DIMENSIONES MODULARES (mm) | | | DIMENSIONES NOMINALES (mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LARGO | ANCHO | ALTURA | LARGO | ANCHO | ALTURA | LARGO | ANCHO | ALTURA |
| 44 | 15 | 18 | 440 | 150 | 180 | 432 | 140 | 177 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

Las dimensiones características del bloque se detallan en el **ANEXO I.**

### 3.1.1.2 Absorción y densidad del bloque

Una vez tomadas las dimensiones de los bloques, se procedió a realizar el ensayo de absorción y densidad a las 6 probetas obteniendo los resultados presentados durante la toma de datos en la tabla 3-3.

**TABLA 3-3:** DATOS DEL ENSAYO ABSORCIÓN Y DENSIDAD DE LOS BLOQUES

| ID | Mi (g) | Ms (g) | | | Δ1 (%) | Δ2 (%) | Md (g) | | Δ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | 4800.06 | 9849.40 | 9888.00 | 9901.00 | 0.39 | 0.13 | 8560.30 | 8554.40 | 0.07 |
| B2 | 4958.56 | 10125.90 | 10187.80 | 10197.80 | 0.61 | 0.10 | 8864.20 | 8852.40 | 0.13 |
| B3 | 4769.15 | 9790.80 | 9861.40 | 9864.40 | 0.72 | 0.03 | 8598.40 | 8592.20 | 0.07 |
| B4 | 4366.35 | 9375.60 | 9340.60 | 9355.40 | 0.37 | 0.16 | 8216.40 | 8211.00 | 0.07 |
| B5 | 5114.5 | 10289.70 | 10358.00 | 10373.30 | 0.66 | 0.15 | 9126.90 | 9119.60 | 0.08 |
| B6 | 4340.75 | 9302.20 | 9367.80 | 9383.80 | 0.71 | 0.17 | 8052.10 | 8045.80 | 0.08 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

Mediante la ecuación 2-1 y 2-2 se obtuvo los valores de porcentaje de absorción y densidad de los bloques presentados en la siguiente tabla.

**TABLA 3-4:** RESULTADOS DEL ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD

| ID | ABSORCIÓN (%) | DENSIDAD ($Kg/m^3$) |
|---|---|---|
| B1 | 15.74 | 1677.02 |
| B2 | 15.20 | 1689.63 |
| B3 | 14.81 | 1686.32 |
| B4 | 13.94 | 1645.80 |
| B5 | 13.75 | 1734.16 |
| B6 | 16.63 | 1595.42 |
| MEDIA | 14.98 | 1671.39 |
| DESV. ESTANDAR | 1.094 | 46.804 |
| COEF. VARIACIÓN | 7.30% | 2.80% |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

Si se observa los resultados y sus medidas estadísticas se puede concluir que la media de los datos analizados es representativa, por lo tanto, el bloque Inova Tk tiene un porcentaje de ABSORCIÓN de 14.98% y su DENSIDAD de 1671.39 $\left({}^{Kg}/_{m^3}\right)$. Si comparamos el resultado obtenido con la tabla 2-3 se concluye que el bloque es de tipo LIVIANO. Los resultados se puntualizan en el **ANEXO II**.

### 3.1.1.3 Resistencia a compresión simple ($f'_{cb}$)

La NTE INEN 3066 especifica que los bloques que van a ser ensayados a compresión deben ser distintos a los utilizados para determinar su absorción y densidad, pero el área neta, determinada en el ensayo de absorción y densidad, es representativa para el ensayo a compresión simple (INEN 3066, 2016).

**TABLA 3-5:** ÁREA NETA PROMEDIO DEL BLOQUE INOVA TK ($A_n$)

| ID | ÁREA NETA PROM. ($cm^2$) |
|---|---|
| B1 | 289.66 |
| B2 | 293.68 |
| B3 | 288.90 |
| B4 | 284.44 |
| B5 | 296.24 |
| B6 | 287.35 |
| PROMEDIO | **290.05** |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

Una vez seleccionadas las probetas del lote de bloques, se procedió a realizar el desbaste de las muescas, con el objetivo de obtener un volumen neto representativo visual y posteriormente realizar el refrentado de los 6 bloques, colocando una capa de mortero 1:1 con espesor de 3mm como se puede observar en la fotografía 3-1.

**FOTOGRAFÍA 3-1:** REFRENTADO DE LOS BLOQUES

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

Mediante una placa de acero de 5mm y una lámina de neopreno utilizada para uniformizar la distribución de la carga tanto en la parte superior e inferior del bloque, se procedió a ensayar las probetas. En la fotografía 3-2 se presenta el ensayo mediante la máquina de compresión.

**FOTOGRAFÍA 3-2:** ENSAYO DE COMPRESIÓN

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

Después de ensayar cada probeta, se presentan los resultados en la tabla 3-6, en la cual se puede apreciar que el bloque EF3 presenta un valor de carga muy bajo con respecto a la media de los datos, por lo tanto, se despreció este valor, así de esta manera los valores obtenidos son representativos.

**TABLA 3-6:** CARGA MÁXIMA PROMEDIO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES ($P_m$)

| ID | CARGA (kN) |
|---|---|
| EF1 | 118.40 |
| EF2 | 145.50 |
| EF3 | 86.60 |
| EF4 | 132.10 |
| EF5 | 109.20 |
| EF6 | 136.80 |
| CARGA MÁXIMA PROMEDIO Pm | 121.43 |
| CARGA MÁXIMA PROM. Pm RECT. | **128.40** |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

Una vez rectificada la carga máxima promedio obtenida de los ensayos se divide para el área neta de la tabla 3-5, obteniendo una RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL, $\mathbf{f'_{cb}}$, de 4.43 MPa.

**TABLA 3-7:** RESISTENCIA A COMPRESIÓN UNIAXIAL

| ÁREA NETA PROM. ($cm^2$) | CARGA MÁX. PROM. (kN) | f'cb (MPa) |
|---|---|---|
| 290.05 | 128.40 | 4.43 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ Y MANOBANDA

En base a la tabla 2-1 y con los resultados detallados en la tabla 3-7, se concluye que el bloque presentado por la empresa Inova Tk no es un bloque estructural y pertenece a un bloque clase B, el cual debe presentar una resistencia mínima a la compresión de 4MPa. Esta clase de bloque la NTE INEN 3066 lo denomina como bloque NO ESTRUCTURAL y recomienda su utilización para paredes divisorias que no estén a la intemperie (INEN 3066, 2016).

Los resultados completos del ensayo a compresión se presentan en el **ANEXO III**

### 3.1.2 ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES QUE CONSTITUYEN EL MORTERO DE PEGA Y GROUT.

Al momento de dosificar el mortero de pega y el hormigón líquido es de suma importancia caracterizar al agregado fino, grueso y cemento con el objetivo de corroborar que cumplan con las definiciones de las normas técnicas para su uso.

En el apartado 2.1.2.2 se especifica los requerimientos que cada componente del mortero de pega debe cumplir, y en el apartado 2.1.3 los requerimientos que deben cumplir los componentes del hormigón líquido.

#### 3.1.2.1 Cemento

El tipo de cemento otorgado y usado en este proyecto de investigación es Cemento Fuerte Tipo GU de Holcim, el cual cumple con las definiciones de la NTE INEN 2380 y se utiliza para la elaboración del mortero de pega y grout.

Mediante los ensayos empleados al cemento tipo GU, usando la norma ASTM 188-17, se definió las siguientes propiedades:

- Densidad aparente del cemento
- Densidad real del cemento

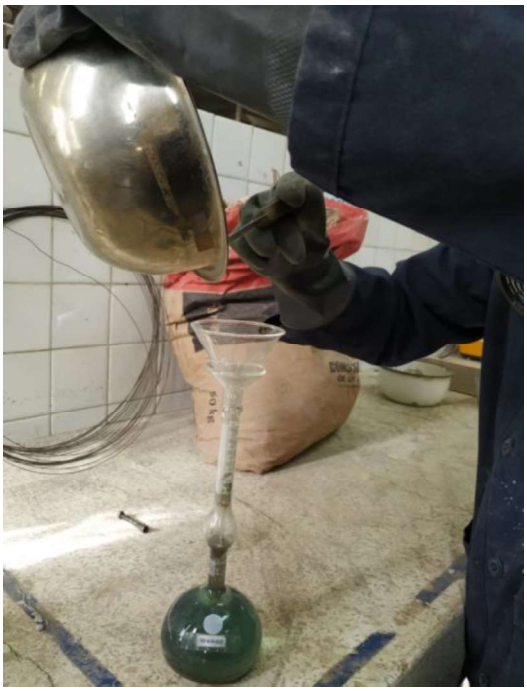
En la tabla 3-8 se presenta los resultados detallados de los respectivos ensayos.

**TABLA 3-8:** DENSIDAD APARENTE DEL CEMENTO HOLCIM TIPO GU

| DENSIDAD | CANTIDAD | UNIDADES |
|---|---|---|
| REAL | 2.88 | g/cm³ |
| APARENTE SUELTA | 0.99 | g/cm³ |
| APARENTE COMPACTADA | 1.18 | g/cm³ |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FOTOGRAFÍA 3-3:** ENSAYO DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO TIPO GU



**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

En el **ANEXO IV** se presentan los resultados de la Densidad Real y Aparente del cemento a detalle.

#### 3.1.2.2 Agregado Fino: Arena

La arena no lavada empleada para la elaboración del mortero, proviene de la planta de HOLCIM ubicada en Pifo.

Mediante los ensayos respectivos se determinaron las siguientes propiedades de la arena:

- Granulometría
- Módulo de finura
- Porcentaje de absorción
- Peso específico real, aparente y en condiciones S.S.S.
- Densidad aparente suelta
- Densidad aparente compactada

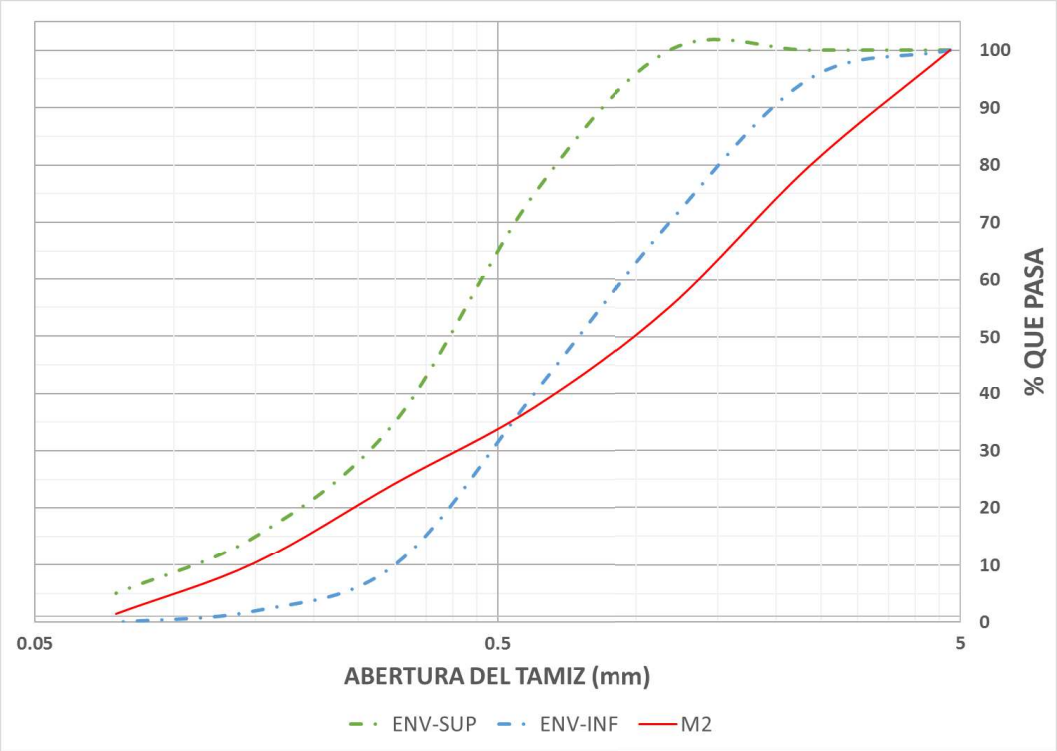
La tabla 3-9 presenta los resultados de la granulometría necesaria, según la NTE INEN 2536, para morteros de pega usados en mampostería.

**TABLA 3-9:** CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA NO LAVADA

| GRANULOMETRÍA DE LA ARENA NO LAVADA – M2 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| PESO INICIAL | | 1000 g | | | |
| TAMÍZ Nº | mm | PESO (g) | % RETENIDO | %ACUMULADO | % PASA |
| 3/8 | 9.5 | 0.00 | 0.00 | 0 | 100 |
| 4 | 4.75 | 0.00 | 0.00 | 0 | 100 |
| 8 | 2.36 | 202.53 | 20.25 | 20.3 | 80 |
| 16 | 1.18 | 245.03 | 24.50 | 44.8 | 55 |
| 30 | 0.6 | 176.73 | 17.67 | 62.4 | 38 |
| 50 | 0.3 | 133.03 | 13.30 | 75.7 | 24 |
| 100 | 0.15 | 139.03 | 13.90 | 89.6 | 10 |
| 200 | 0.075 | 89.23 | 8.92 | 98.6 | 1 |
| Bandeja | g | 14.40 | 1.44 | 100.0 | 0 |
| Peso Final (g) | | 1000 | | | |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FIGURA 3-1:** CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA NO LAVADA PARA MORTERO




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

A pesar de presentar un módulo de finura idóneo de 3 la arena se retiene en gran exceso en los tamices N°8 al N°30. La curva granulométrica no cumple con las

envolventes establecidas por la norma INEN, sin embargo, esta arena puede ser utilizada según la INEN. En la fotografía 3-4 se presenta los tamices utilizados para el ensayo de granulometría.

**FOTOGRAFÍA 3-4:** ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE LA ARENA NO LAVADA

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

También se verifica el contenido de material orgánico con la norma NTE INEN 0855, de donde la arena no contiene material orgánico su porcentaje es del 0% estos resultados se puntualizan en el **ANEXO V**.

La tabla 3-10 presenta los parámetros obtenidos descritos anteriormente y en la fotografía 3-5 se puede observar el ensayo de pesos específicos y densidad real de la arena como también en la fotografía 3-6 se presenta el ensayo de densidad aparente de la arena.

**TABLA 3-10** PARÁMETROS FÍSICOS DE LA ARENA NO LAVADA

| PARÁMETRO | CANTIDAD | UNIDADES |
|---|---|---|
| MODULO DE FINURA | 3 | - |
| PESO ESPECÍFICO | 2.59 | g/cm³ |
| % ABSORCIÓN | 2.04 | % |
| DENSIDAD APARENTE SUELTA | 1.52 | g/cm³ |
| DENSIDAD APARENTE COMPACTADA | 1.75 | g/cm³ |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FOTOGRAFÍA 3-5:** ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ARENA NO LAVADA

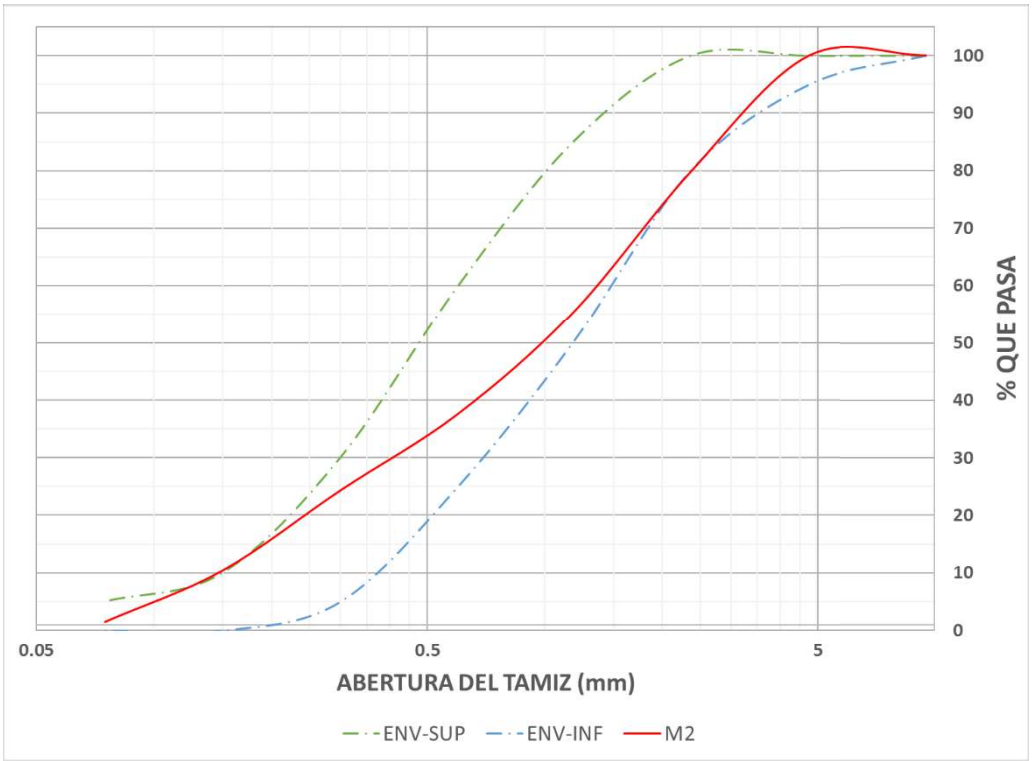
**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FOTOGRAFÍA 3-6:** ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE DEL ARENA NO LAVADA

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Al ser analizada la arena no lavada con la envolvente propuesta en la tabla 2-15, parámetro necesario para la arena que constituye el hormigón líquido, se observa que la curva granulométrica está dentro de los parámetros de la ASTM C33M-16.

**FIGURA 3-2:** CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA NO LAVADA PARA HORMIGÓN LÍQUIDO




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

En el **ANEXO VI** y **ANEXO VII** se presentan las curvas granulométricas y parámetros físicos de la arena no lavada respectivamente.

### 3.1.2.3 Agregado Grueso: Ripio #8

Al igual que la arena, el agregado grueso proviene de la planta de HOLCIM ubicada en Pifo.

Mediante los ensayos respectivos se determinaron las siguientes propiedades del agregado grueso:

- Granulometría
- Módulo de finura
- Porcentaje de absorción

- Peso específico real, aparente y en condiciones S.S.S.
- Densidad aparente suelta
- Densidad aparente compactada

La tabla 3-11 presenta los resultados de la granulometría necesaria, según la ASTM C404-18, para agregado grueso que constituyen el hormigón líquido.

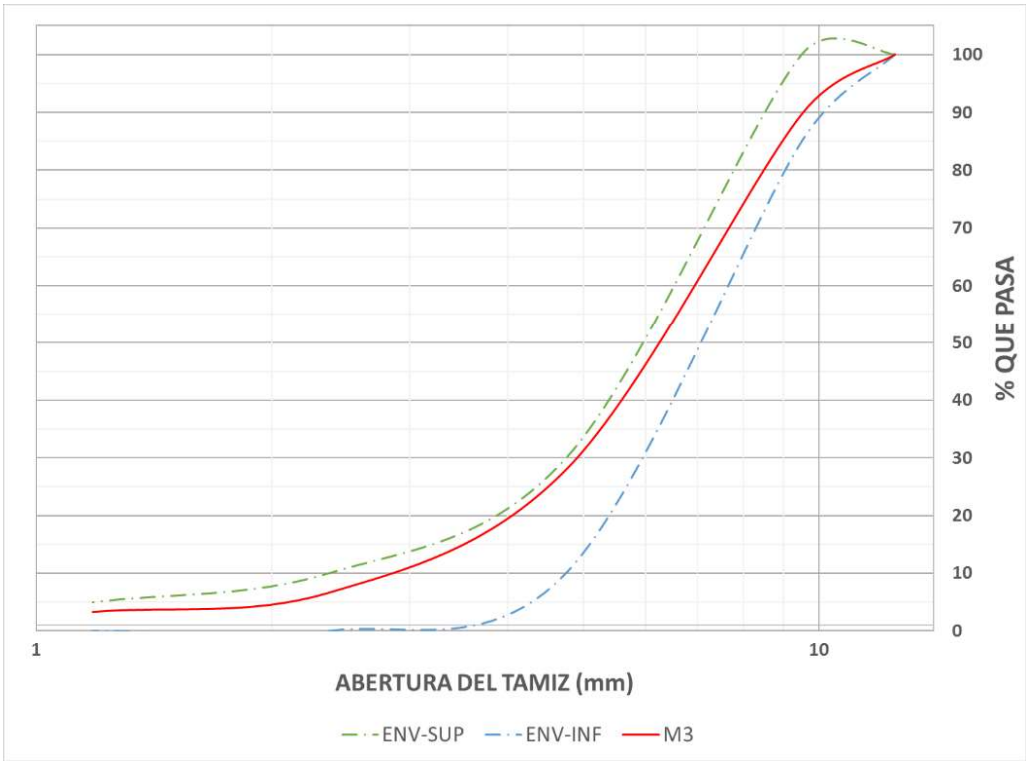
**TABLA 3-11:** CURVA GRANULOMÉTRICA DEL RIPIO #8

| **GRANULOMETRÍA DE RIPIO #8 - M3** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **PESO INICIAL** | | 2000 g | | | |
| **TAMÍZ Nº** | **mm** | **PESO (g)** | **% RETENIDO** | **%ACUMULADO** | **% PASA** |
| 1/2 | 12.5 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100 |
| 3/8 | 9.5 | 206.3 | 10.32 | 10.32 | 90 |
| 4 | 4.75 | 1234.4 | 61.74 | 72.05 | 28 |
| 8 | 2.36 | 427.7 | 21.39 | 93.44 | 7 |
| 16 | 1.18 | 65.9 | 3.30 | 96.74 | 3 |
| Bandeja | g | 65.2 | 3.26 | 100.00 | 0 |
| PESO FINAL | | 1999.5 | | | |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Así mismo la curva granulométrica de la figura 3-3 refleja una adecuada distribución de los diferentes tamaños del ripio.

**FIGURA 3-3:** CURVA GRANULOMÉTRICA DEL RIPIO #8 PARA EL HORMIGÓN LÍQUIDO




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

La siguiente tabla presenta los parámetros obtenidos descritos anteriormente en los cuales se basa la dosificación.

**TABLA 3-12:** PARÁMETROS FÍSICOS DEL RIPIO #8

| PARÁMETRO | CANTIDAD | UNIDADES |
|---|---|---|
| MODULO DE FINURA | 5.7 | - |
| PESO ESPECÍFICO | 2.45 | g/cm³ |
| % ABSORCIÓN | 4.01 | % |
| DENSIDAD APARENTE SUELTA | 1.32 | g/cm³ |
| DENSIDAD APARENTE COMPACTADA | 1.43 | g/cm³ |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

En el **ANEXO VIII** y **ANEXO IX** se presentan las curvas granulométricas y parámetros físicos del ripio #8 respectivamente.

### 3.1.3 ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE MORTERO DE PEGA

Teniendo en cuenta la información obtenida de los elementos constituyentes del mortero, se realizaron las siguientes dosificaciones en proporción de volúmenes de arena y cemento 1:2, 1:3, 1:3.5, 1:4 y 1:5, con el objetivo de seleccionar la dosificación más idónea dependiendo de la resistencia a compresión requerida para el desarrollo del proyecto.

Para determinar la cantidad de agua requerida para cada dosificación se realizó, a la mezcla resultante del cemento, arena y agua, la prueba de fluidez mediante la norma NTE INEN 2502, en la tabla 3-13 se muestran los resultados del ensayo y en la fotografía 3-7 se presenta el esquema de este.

**TABLA 3-13:** ENSAYO DE FLUIDEZ

| RELACIÓN CEMENTO : ARENA | CEMENTO ( $cm^3$ ) | ARENA ( $cm^3$ ) | CANTIDAD DE AGUA ( $cm^3$ ) | DIÁMETRO EN LA MESA DE FLUJO (cm) | | | | | % de FLUJO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | D1 | D2 | D3 | D4 | PROMEDIO | |
| 1:2 | 100 | 200 | 80 | 22.6 | 23 | 23 | 23.1 | 22.925 | 129.25 |
| | | | 77 | 21 | 21 | 21 | 21.1 | 21.025 | 110.25 |
| 1:3 | 100 | 300 | 110 | 23.3 | 23 | 23.4 | 23.1 | 23.2 | 132 |
| | | | 95 | 21.5 | 21.2 | 21.1 | 21.8 | 21.4 | 114 |
| 1:3.5 | 100 | 350 | 113 | 21.8 | 22 | 22.4 | 22.3 | 22.125 | 121.25 |
| | | | 110 | 21.2 | 21.6 | 21.4 | 21.8 | 21.5 | 115 |
| 1:4 | 100 | 400 | 125 | 21.5 | 21.8 | 21.4 | 21.3 | 21.5 | 115 |
| 1:5 | 100 | 500 | 157 | 22.3 | 21.8 | 21.5 | 22 | 21.9 | 119 |
| | | | 146 | 21.3 | 22 | 21.6 | 21.2 | 21.525 | 115.25 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FOTOGRAFÍA 3-7:** ENSAYO DE FLUIDEZ

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Para determinar la resistencia a compresión de las probetas se elaboró por cada dosificación 6 probetas cilíndricas de 10 cm de base por 20 cm de altura, ver fotografía 3-8, aunque la norma INEN 2518 establezca realizar dicho ensayo en probetas cubicas de 50 mm, la ASTM C 780 establece que se puede realizar el ensayo de compresión en cilindros de dimensiones pequeñas.

**FOTOGRAFÍA 3-8:** CILINDROS DE MORTERO DE PEGA CON DIFERENTES DOSIFICACIONES

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

El ensayo de resistencia a compresión se realizó cumplido los 28 días de curado.

Retirando las probetas de la cámara de curado se secó con una toalla, se obtuvo 2 medidas del diámetro perpendiculares entre sí, tres medidas de la altura y su peso.

Posteriormente se procedió a capear las probetas, para luego ser colocadas en la máquina de ensayo. Se procedió a realizar el ensayo a compresión aplicando la carga de tal forma que no existan variaciones bruscas y de manera constante, en la fotografía 3-9 podemos observar el ensayo de una probeta.

**FOTOGRAFÍA 3-9:** ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE MORTERO DE PEGA

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Los resultados de resistencias alcanzados por los cilindros de mortero de pega se presentan en la siguiente tabla.

**TABLA 3-14:** RESISTENCIA MÁXIMA A COMPRESIÓN DE MORTEROS ($f'_j$)

| DOSIFICACIÓN | ESFUERZO MÁXIMO A COMPRESIÓN ( Kg/cm$^2$ ) |
|---|---|
| **1:2** | 190.28 |
| **1:3** | 154.2 |
| **1:3.5** | 77.57 |
| **1:4** | 68.02 |
| **1:5** | 39.17 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Los resultados de los cilindros de dosificación 1:5 a compresión se presentan en el **ANEXO X**.

### 3.1.4 ENSAYO A COMPRESIÓN DE PRISMAS DE HORMIGÓN LÍQUIDO O GROUT

Partiendo de la tabla 2-13 presentada en la sección 2.1.3.1, se estableció la dosificaciones 1:2.25:1, 1:2.25:2 y 1:3:1 con una relación agua/cemento de 0.8 inicialmente, el principal objetivo es alcanzar una resistencia de 100 kg/cm² como mínimo, según la NEC-SE-MP, o 140 kg/cm² como mínimo según la ASTM C476-18.

**TABLA 3-15:** ASENTAMIENTOS COMO PARÁMETRO DE CONTROL DEL GROUT

| ID | DOSIFICACIÓN | RELACIÓN a/c REAL | ASENTAMIENTO (cm) |
|---|---|---|---|
| TK 1 | 1:2.25:1 | 0.91 | 24.77 |
| TK 2 | 1:2.25:2 | 1.02 | 21.13 |
| TK3 | 1:2.25:1 | 0.87 | 21.83 |
| TK4 | 1:2.25:2 | 0.98 | 21.30 |
| TK5 | 1:3:1 | 0.90 | 22.50 |
| TK6 | 1:3:2 | 0.99 | 20.50 |
| TK7 | 1:2.25:1 | 0.83 | 20.00 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Se realizaron siete dosificaciones cada una con una variación de relación a/c tomando en cuenta la ecuación 2-6, tal que, se cumplan con los asentamientos estipulados, como parámetro de control, en la ASTM C476-18 como se presenta en la tabla 3-16.

En la fotografía 3-10 se observa los asentamiento que se presentaron en unas de las dosificaciones realizadas.

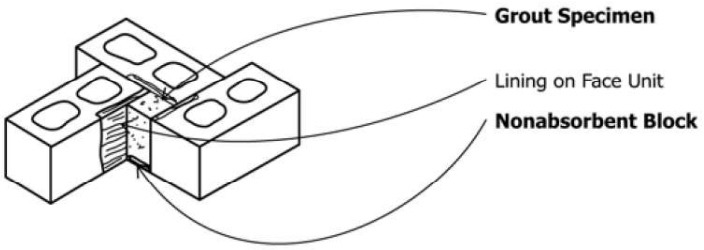
**FOTOGRAFÍA 3-10:** ENSAYO DE ASENTAMIENTO (CONO DE ABRAMS)

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Para determinar la resistencia se elaboró por cada dosificación 3 probetas prismáticas, con excepción de la dosificación TK7 la cual se elaboró 4 probetas. Las dimensiones estipuladas en la ASTM C1019-16 establece que el ancho de la probeta debe estar entre 7.6 cm y 9.5 cm y que la altura debe ser el doble de la base (ASTM C1019, 2016), por lo tanto se establecieron probetas de 9x18cm.

La construcción de probetas se realizó según lo estipulado en la norma representado en la figura 3-4, ya que, al ser un hormigón líquido, es decir, con un alto contenido de agua necesaria para cumplir con los asentamientos, reflejará una resistencia baja, por lo tanto, al utilizar moldes de concreto parte del exceso de agua será absorbido por los bloques alcanzando así la resistencia requerida.

**FIGURA 3-4:** ESQUEMA DE PROBETAS PARA GROUT




**FUENTE:** (ASTM C1019, 2016)

El ensayo de resistencia a compresión se realizó cumplido los 28 días de curado. Retirando las probetas de la cámara de curado se secó, con una toalla, se obtuvo 2 medidas de cada arista y su peso. Se procedió a realizar el ensayo a compresión aplicando la carga de tal forma que no existan variaciones bruscas y de manera constante, en la fotografía 3-11 podemos observar el ensayo de una probeta.

**FOTOGRAFÍA 3-11:** ENSAYO A COMPRESIÓN DE PRISMAS DE GROUT

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

La resistencia alcanzada por las diferentes probetas, se detallan en la siguiente tabla.

**TABLA 3-16:** RESISTENCIA MÁXIMA A COMPRESIÓN DE LOS PRISMAS DE GROUT $(f'_g)$

| ID | ESFUERZO MÁX. (kg/cm²) |
|---|---|
| TK1 | 108.47 |
| TK2 | 62.79 |
| TK3 | 124.29 |
| TK4 | 71.61 |
| TK5 | 96.11 |
| TK6 | 62.71 |
| TK7 | 142.49 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

De la tabla que precedió se observa que la dosificación TK1 y TK3 cumplen con la NEC-SE-MP mientras que la dosificación TK7 cumple con la ASTM C476-18.

Los resultados de los prismas de dosificación TK7, especificados como G1, G2, G3, G4, ensayados a compresión se presentan en el **ANEXO XI**.

## 3.2 ENSAYOS DE PRISMAS Y MURETES

Debido a la resistencia que presentó el bloque Inova Tk ($f'_{cb}$) igual a 4.43 MPa, se ha seleccionado una dosificación del mortero de 1:5 Tipo N con una resistencia de ($f'_j$) igual a 3.85 MPa empleado para la construcción de los prismas y muretes, cumpliendo con la recomendación de la norma INEN 2518, la cual en el Apéndice V6.3.2 recomienda que la resistencia del mortero debe ser menor a la del bloque; de esta manera fallará en primer lugar las juntas del mortero al fisurarse y será más fácil reparar las juntas del mortero que el bloque al sufrir algún daño en el panel de mampostería.

Por otro lado, la empresa Inova Tk que desea emplear el bloque de hormigón en el panel de mampostería requiere que la junta de mortero sea la mínima o sin su implementación ya que el bloque cuenta con muescas verticales y horizontales que trabajan como elementos de adherencia entre sí; sin embargo, por la débil adherencia y estabilidad que proporcionan las muescas de los bloques se decidió utilizar una junta de mortero de 10mm de espesor. Además, por la baja resistencia alcanzada por el bloque Inova Tk, bloque clase B, este no debe sobrepasar una carga mayor a la de su propio peso y al estar limitada a la separación únicamente de espacios físicos no es necesario contemplar la utilización del grout, por lo cual, los prismas y muretes carecen de este, en caso de contemplar la utilización de hormigón líquido la dosificación que cumple con la ASTM y la NEC-SE-MP es 1:2.25:1 con una relación a/c de 0.83.

El ensayo de los primas y muretes se realizó a los 40 días de curado; pese a que en diversas normas se establece que el hormigón o elementos constituidos por hormigón alcanzan su mayor resistencia a los 28 días y esta es la edad idónea para ensayarlos; existen investigaciones en las cuales se establece que el hormigón alcanza un aumento del 1 al 2 % con respecto a la resistencia alcanzada a los 28

días en una edad de 56 días, siendo este aumento de resistencia poco significativo respecto al tiempo que ha transcurrido (Sanchez & Robinson, 2015).

De acuerdo a la instrumentación descrita en la sección 2.2.1.3 los LVDTs 2 y 3 fueron retirados al alcanzar una carga de compresión de alrededor de 6 toneladas para evitar daños en los mismos, ya que a esta carga se presentaron las primeras fisuras.

### 3.2.1 ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESIÓN

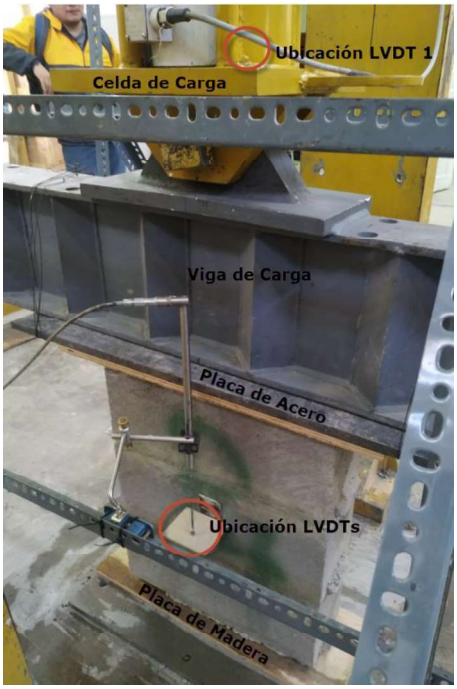
Una vez que los prismas cumplieron 40 días de curado se procedió a refrentar los 6 primas, con un lapso de 24 horas antes de ser ensayados.

**FOTOGRAFÍA 3-12:** REFRENTADO DE PRISMAS

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Se trasladaron las probetas al lugar de ensayo colocándolas sobre una placa de acero y un tablón de madera los cuales deben exceder 6mm de longitud en cada dirección, permitiendo una mejor distribución de la fuerza en el área de contacto de la probeta. Se alineó y centro el eje del prisma con el eje de la viga de carga y se procedió a ubicar los transductores de desplazamiento LVDTs.

**FOTOGRAFÍA 3-13:** UBICACIÓN DE LAS PLACAS Y LVDTs




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Después de haber instrumentado por completo las probetas, se aplicó la carga de forma continua a una velocidad conveniente hasta alcanzar la mitad de la carga máxima esperada, mientras que el resto de la carga se aplicó entre 1 y 2 minutos (ASTM C1314, 2016).

En la siguiente tabla se detallan los resultados compresión de los prismas.

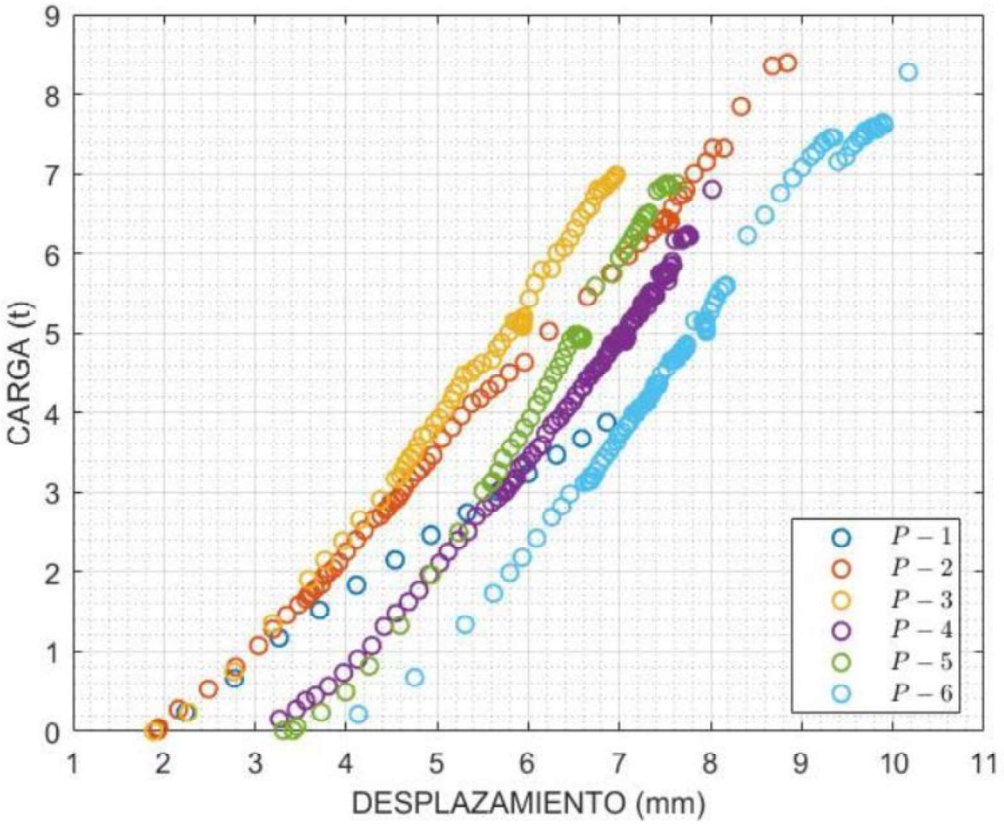
**TABLA 3-17:** CARGA MÁXIMA A COMPRESIÓN DE LOS PRISMAS

| ID | ALTURA MEDIA (mm) | LONGITUD MEDIA (mm) | ESPESOR MEDIO (mm) | CARGA MÁXIMA (Kg) |
|---|---|---|---|---|
| P-1 | 549.00 | 444.50 | 140.00 | 3880.00 |
| P-2 | 552.50 | 445.00 | 140.00 | 8390.88 |
| P-3 | 545.50 | 445.00 | 140.00 | 6985.66 |
| P-4 | 538.25 | 445.00 | 140.00 | 6804.03 |
| P-5 | 544.50 | 446.25 | 140.00 | 6875.59 |
| P-6 | 552.75 | 444.25 | 140.00 | 8274.83 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

De los ensayos realizados se obtiene la curva carga vs desplazamiento la cual servirá para obtener la resistencia a la compresión y módulos de elasticidad de cada prisma. En la figura 3-5 se presentan las cargas y los desplazamientos correspondientes registrados por el LVDT 1.

**FIGURA 3-5:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL LVDT 1 PARA PRISMAS

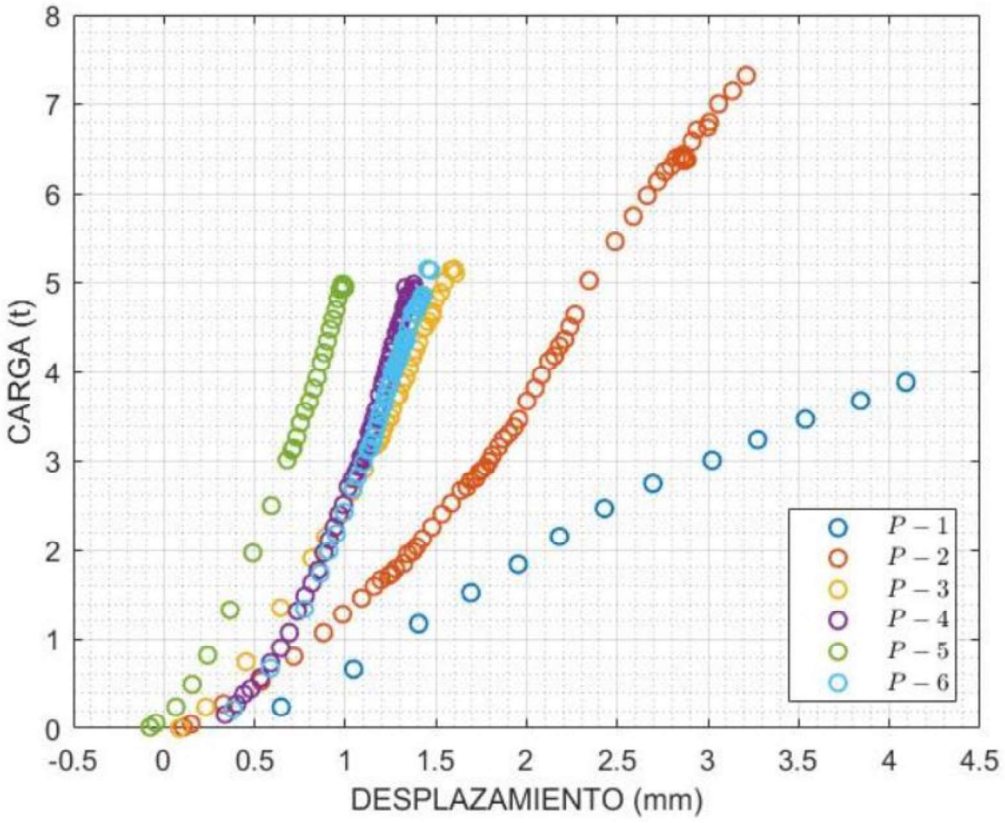



**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Como se puede observar en la figura 3-5, el prisma 1 presenta mayor dispersión respecto al resto de prismas, esto se debe a que la carga máxima de rotura alcanzada es de 3880 kg; se tomó en cuenta los datos desde que se registraron cargas y desplazamientos positivos el resto de los valores son despreciados y estos corresponden al reacomodo de la celda de carga, de la placa de acero y de las juntas del mortero.

En la figura 3-6 se presentan los resultados registrados del LVDT 3; el LVDT 2 se despreció ya que los resultados obtenidos por este son muy dispersos.

**FIGURA 3-6** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL LVDT 3 PARA PRISMAS




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

### 3.2.2 ENSAYO DE MURETES A COMPRESIÓN

Una vez que los muretes cumplieron 40 días de curado se procedió a refrentar los 6 muretes, con un lapso de 24 horas antes de ser ensayados.

**FOTOGRAFÍA 3-14:** REFRENTADO DE MURETES

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Se procedió a trasladar las probetas al lugar de ensayo colocándolas sobre una placa de acero y un tablón de madera los cuales deben exceder 6mm de longitud en cada dirección, permitiendo una mejor distribución de la fuerza en el área de contacto de la probeta. Se alineó y centro el eje del murete con el eje de la viga de carga y se procedió a ubicar los transductores de desplazamiento LVDTs bajo el mismo esquema que en los prismas.

**FOTOGRAFÍA 3-15:** INSTRUMENTACIÓN DE MURETES

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Una vez instrumentado por completo las probetas, se aplicó la carga de forma continua a una velocidad conveniente hasta alcanzar la mitad de la carga máxima esperada, mientras que el resto de la carga se aplicó entre 1 y 2 minutos (ASTM C1314, 2016).

En la siguiente tabla se detallan los resultados a compresión de los 6 muretes, en el cual se registra la carga uniaxial máxima registrada por la celda de carga.

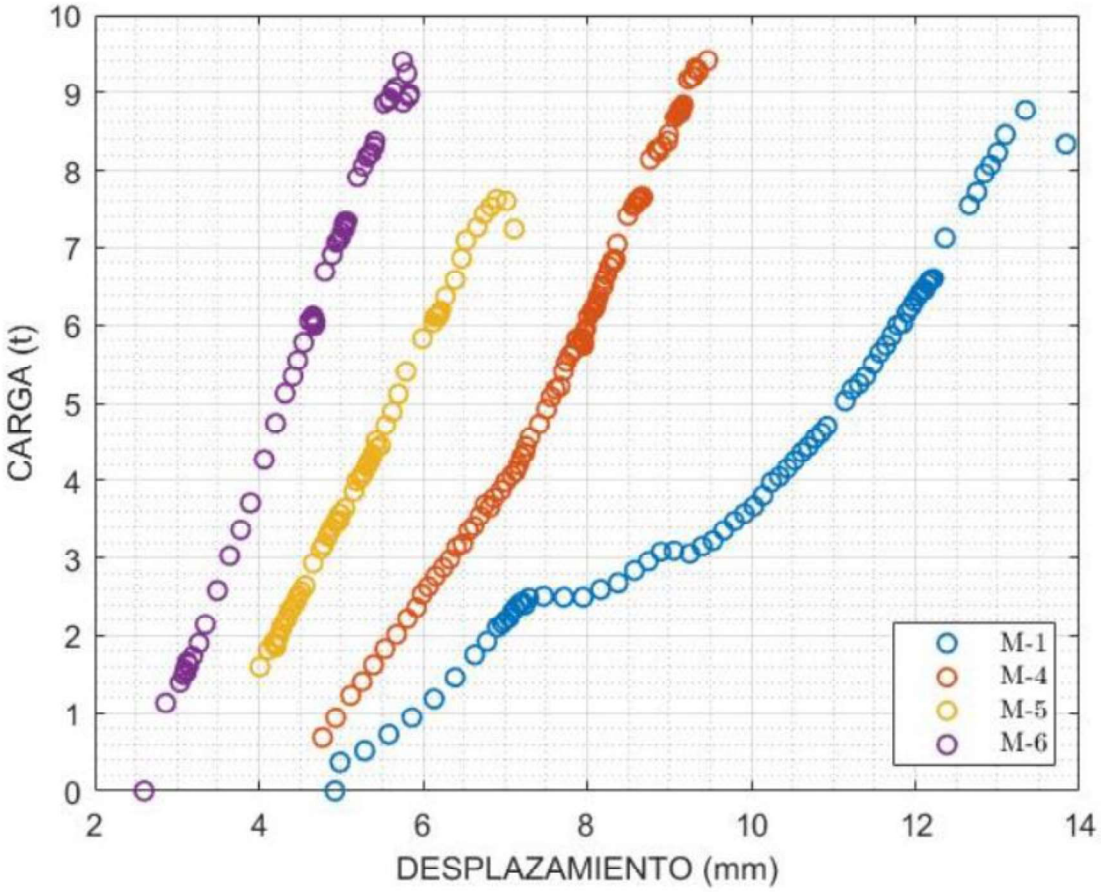
**TABLA 3-18:** CARGA MÁXIMA A COMPRESIÓN DE LOS MURETES

| ID | ALTURA MEDIA (mm) | LONGITUD MEDIA (mm) | ESPESOR MEDIO (mm) | CARGA MÁXIMA (Kg) |
|---|---|---|---|---|
| M-1 | 755.00 | 752.00 | 140 | 8770.65 |
| M-2 | 741.50 | 745.50 | 140 | 6400.66 |
| M-3 | 739.00 | 741.50 | 140 | 11176.56 |
| M-4 | 737.50 | 745.00 | 140 | 9410.74 |
| M-5 | 730.00 | 746.50 | 140 | 7623.64 |
| M-6 | 731.50 | 745.50 | 140 | 9394.14 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Además de obtener la carga máxima, se obtuvo la gráfica carga vs desplazamiento registrada por el LVD 1, como también de los LVDTs 2 y 3, recalcando que se despreciaron los registros del LVDT 2 en todas las probetas, ya que los datos no eran representativos y así también los registros del LVDT 3 en los muretes M1, M2, M4. En la siguiente gráfica se puede observar los resultados de las curvas.

**FIGURA 3-7:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL LVDT 1 PARA MURETES

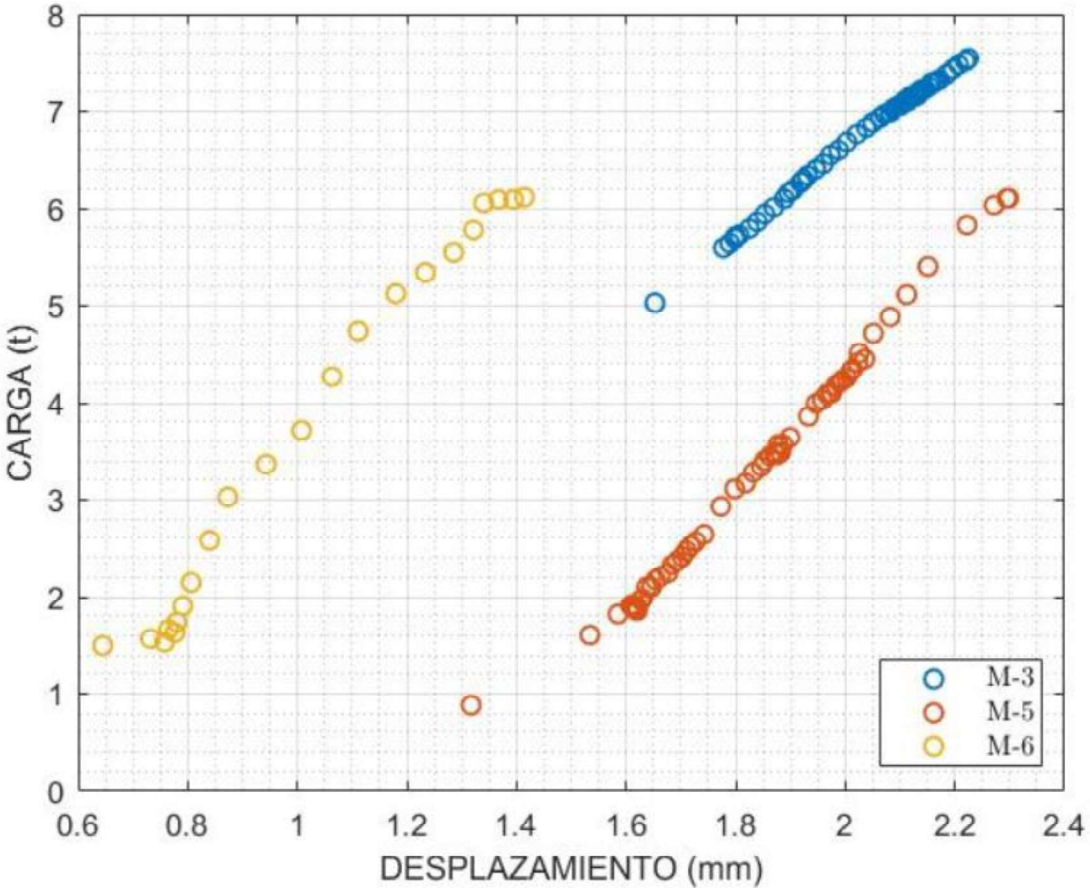



**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Tras un breve análisis las curvas M-2 y M-3 representan una mayor dispersión puesto que la carga máxima respectiva es de 6.4 y 11.2 toneladas, además las primeras deformaciones corresponden a la deformación de la placa de madera y reacomodo de las probetas, por lo cual se descartaron y no están representadas en la figura 3-7.

En la figura 3-8 se presentan las curvas carga vs desplazamiento únicamente para los muretes M-3, M-5 Y M-6.

**FIGURA 3-8:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL LVDT 3 PARA MURETES




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

### 3.2.3 ENSAYO DE MURETES A TENSIÓN DIAGONAL

Una vez que los muretes cumplieron 40 días de curado se procedió a refrentar las áreas que están en contacto con los cabezales de carga como se muestra en la fotografía 3-17.

**FOTOGRAFÍA 3-16** REFRENTADO DE LOS MURETES A TENSIÓN DIAGONAL

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

La longitud de los cabezales de carga no debe ser mayor a 150 mm, para así evitar efectos de confinamiento y concentración de esfuerzos.

Los muretes se deben colocar sobre el cabezal de carga inferior procurando que esté centrado y alineado con el centro de carga, por último, se coloca el cabezal de carga superior y se asienta la placa de carga sobre el cabezal. La NEC-SE-MP establece que el ensayo debe durar de 3 a 4 minutos.

El ensayo a compresión diagonal no se puedo realizar ya que al trasladar los muretes al lugar de ensayo la hilada superior se desprendía del resto del murete esto se pudo evidenciar en los 6 muretes que iban a ser ensayados como se puede observar en la fotografía 3-18. Por esta razón no fue posible realizar el ensayo a corte diagonal sobre los muretes y así obtener el módulo de rigidez (Gm).

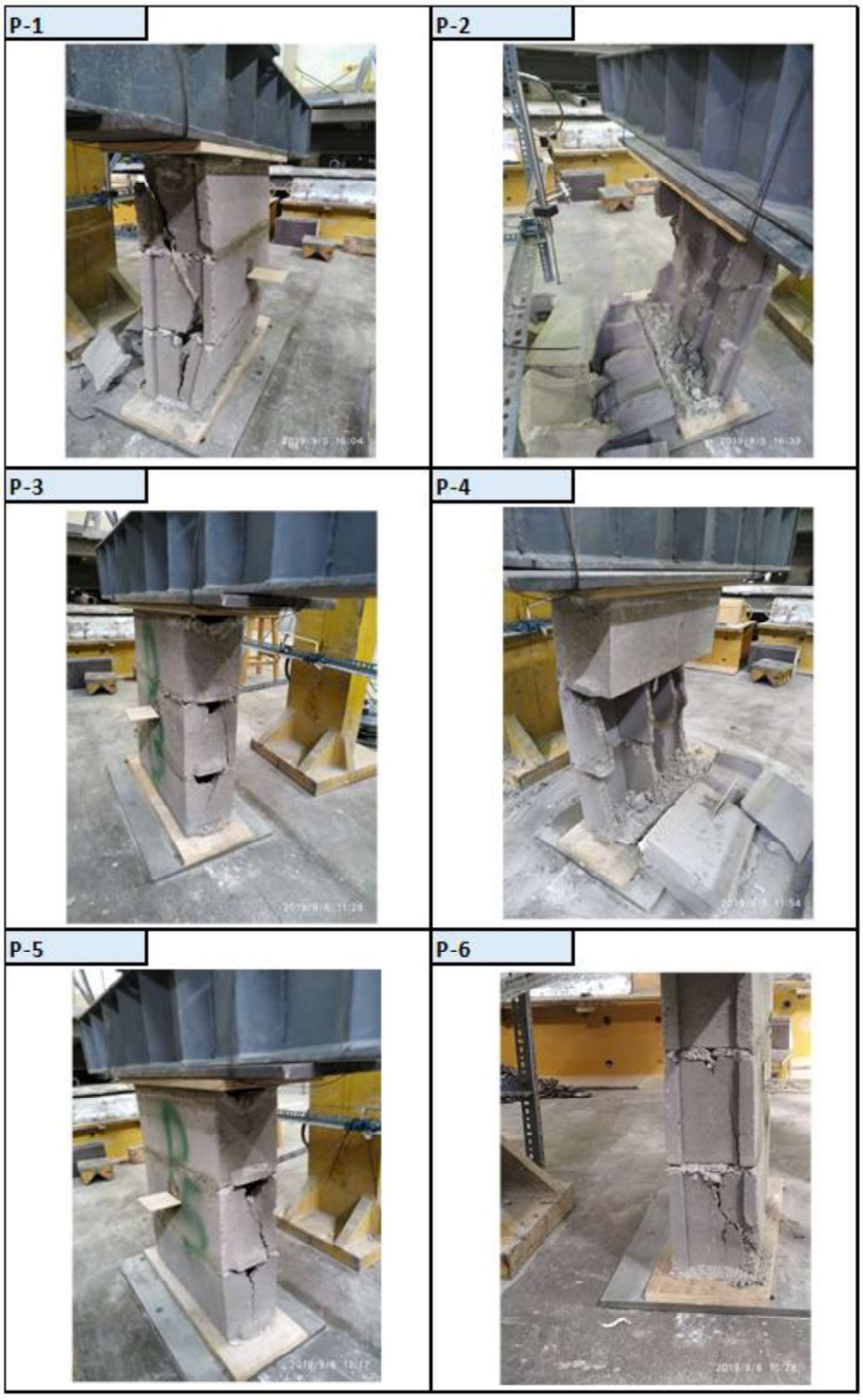
**FOTOGRAFÍA 3-17** FALLA PRESENTADA EN LOS MURETES

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

## 3.3 TIPO DE FALLA DE PRISMAS Y MURETES

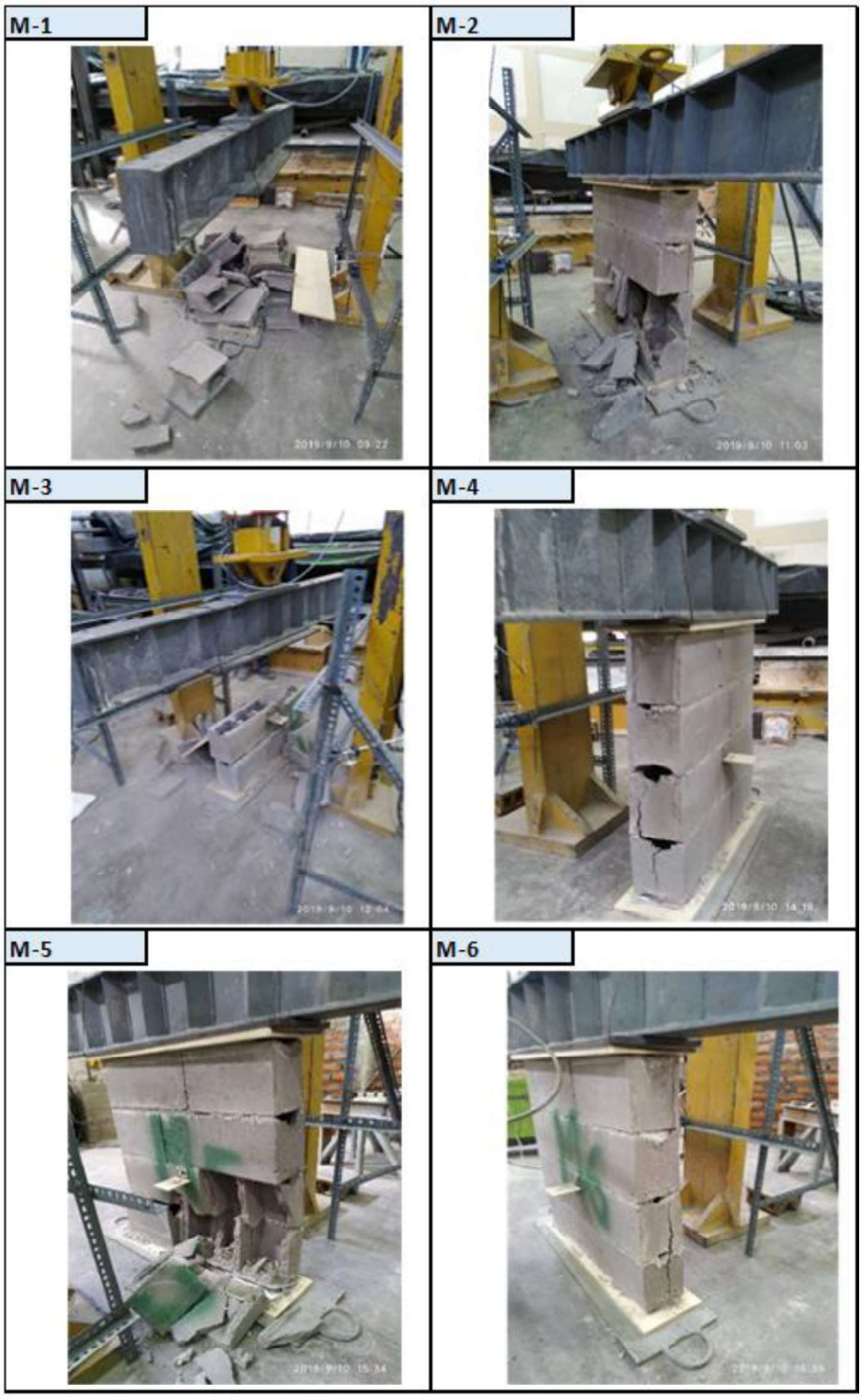
El proceso de falla de las probetas sometidas a compresión inicia con el reacomodo de los bloques y la probeta en general debido a sus irregularidades, aunque exista el refrentado, percibidos por las grandes deformaciones con bajas cargas registradas por los LVDTs, seguido de pequeñas fisuras en el plano de la probeta. A este tipo de falla Andreaus, lo denomina como “falla por desprendimiento en el plano” y se debe al estado biaxial al que está sometido el bloque, en el cual los esfuerzos de tensión son relativamente altos comparados con los esfuerzos de corte (Andreaus, 1996) provocando así el desprendimiento característico del plano como se puede observar en la figura 3-9 para los prismas y la figura 3-10 para los muretes.

**FIGURA 3-9:** FALLA TIPICA DE LOS PRISMAS




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FIGURA 3-10:** FALLA TÍPICA DE LOS MURETES




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Los prismas sometidos a tensión diagonal no registraron una falla correspondiente característica de una compresión diagonal sino más bien su modo de falla, como lo describe Andreaus, corresponde al desprendimiento de las juntas horizontales de mortero, es decir, la hilada de los bloques se desprenda del resto del murete debido a la poca adhesión entre los bloques y el mortero de pega, el modo de falla presentado se puede observar en la figura 3-11.

**FIGURA 3-11:** FALLA DE MURETES A TENSIÓN DIAGONAL

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

# CAPÍTULO IV

# TRATAMIENTO DE DATOS Y MODELOS ANALÍTICOS

## 4.1 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MURETES Y PRISMAS-ETAPA EXPERIMENTAL

De los ensayos experimentales a compresión de prismas y muretes en la sección 3.2.1 y 3.2.2 respectivamente, se determinó como primer parámetro el factor de corrección por esbeltez en base a la tabla 2-18 para lo cual se realizó una interpolación lineal en el caso de los prismas y una extrapolación lineal en el caso de los muretes, consecuentemente se obtuvo la media de la resistencia a compresión experimental corregida, $\overline{f'_m}$, presentada en la siguiente tabla.

**TABLA 4-1:** MEDIA DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EXPERIMENTAL CORREGIDA DE PRISMAS Y MURETES

| PROBETA | ID | ESBELTEZ | FACTOR DE CORRECCIÓN | RESISTENCIA A COMPRESIÓN CORR. (MPa) | MEDIA DE LA RESISTENCIA EXPERIMENTAL CORREGIDA (MPa) $\overline{f'_m}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| PRIMAS | P-1 | 3.92 | 1.14 | 1.50 | 2.66 |
| | P-2 | 3.95 | 1.14 | 3.25 | |
| | P-3 | 3.90 | 1.14 | 2.70 | |
| | P-4 | 3.85 | 1.14 | 2.62 | |
| | P-5 | 3.89 | 1.14 | 2.65 | |
| | P-6 | 3.95 | 1.14 | 3.21 | |
| MURETES | M-1 | 5.39 | 1.25 | 2.25 | 2.24 |
| | M-2 | 5.30 | 1.24 | 1.63 | |
| | M-3 | 5.28 | 1.24 | 2.84 | |
| | M-4 | 5.27 | 1.24 | 2.39 | |
| | M-5 | 5.21 | 1.24 | 1.93 | |
| | M-6 | 5.23 | 1.24 | 2.38 | |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Al analizar los datos primarios obtenidos se destaca que la resistencia a compresión corregida del prima P-1, como también de los muretes M-2 y M-3 son bastante dispersos con respecto a la media, además, debido a que los datos de las curvas de los prismas P-1, P-2, P-3 y de los muretes M-1, M-2, M-3 son bastante dispersos se desestimó dichos valores obteniendo una media de la resistencia a compresión experimental corregida representativa de los ensayos. Para obtener la resistencia a compresión específica o de diseño ($f'_m$) se aplicó el criterio del reglamento

colombiano NSR-10, ver sección 2.7, con un factor de corrección estadístico del 0.75, los resultados se presentan en la tabla 4-2.

**TABLA 4-2:** RESISTENCIA A COMPRESIÓN ESPECÍFICA DE LA MAMPOSTERÍA

| PRISMA | $\overline{f'_m}$ (MPa) | DESVIACIÓN (MPa) | COEFICIENTE DE VARIACIÓN | RESISTENCIA A COMPRESIÓN ESPECÍFICA O DE DISEÑO (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| PRISMA | 2.83 | 0.28 | 0.11 | 2.12 |
| MURETE | 2.24 | 0.21 | 0.12 | 1.68 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

La resistencia alcanzada en los prismas es 22% mayor a la resistencia de los muretes, estos resultados se deben principalmente a la configuración de prismas y muretes. Mientras que los muretes están constituidos por hiladas intercaladas, es decir la forma típica de una pared de mampostería, los prismas están compuestos por hiladas de bloques superpuestos. Además el Ing. Pachano, F. en su investigación de posgrado realizada en el 2018 explica que al existir concentración de esfuerzos en las zonas cercanas a las juntas verticales se reducirá la resistencia global de la mampostería (Pachano, 2018).

## 4.2 DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE LA MAMPOSTERÍA- ETAPA EXPERIMENTAL

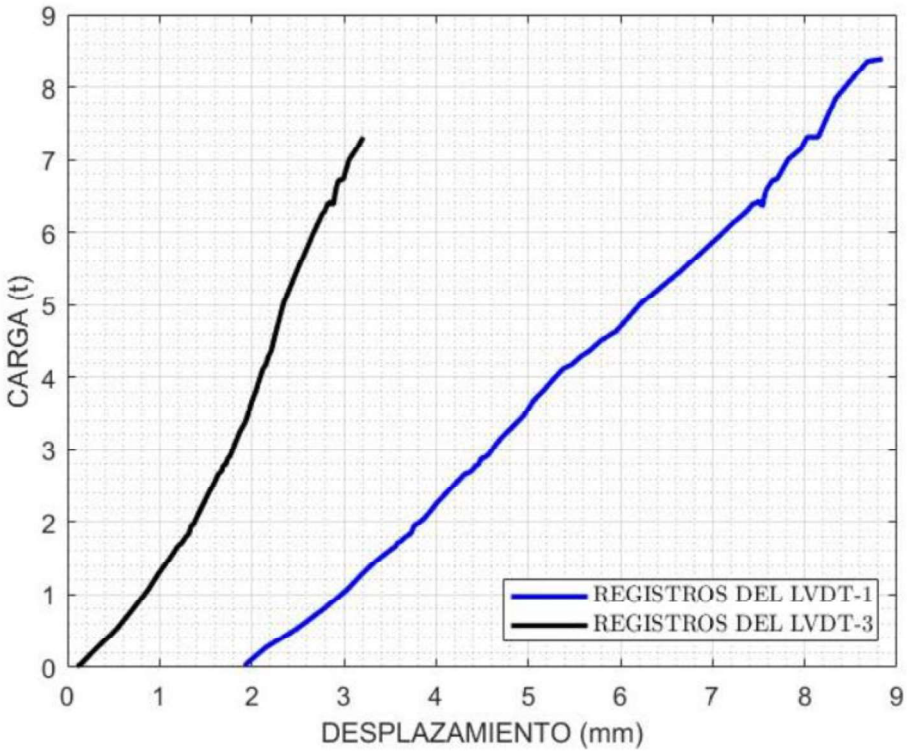
### 4.2.1 CORRECCIÓN DE LAS CURVAS CARGA VS DESPLAZAMIENTO DE LA MAMPOSTERÍA

Está claro que para obtener la curva esfuerzo vs deformación se emplearon tres LVDTs, el primer LVDT registró desplazamiento vertical de cada probeta, tomando en cuenta el efecto de confinamiento que se presenta entre los extremos placa-probeta y su reacomodo, por lo tanto, se utilizaron dos LVDTs adicionales colocados en cada cara del plano de la probeta de forma simétrica en las hiladas que no están en contacto con las placas de carga, ver sección 2.2.1.3, con el objetivo de registrar los desplazamientos directamente sobre la probeta. Los LVDTs 2 y 3 fueron retirados en el momento que se visualizaron las primeras grietas en la mampostería

ya que después de este punto los dispositivos estaban expuestos a daños por el tipo de falla presentado la figura 3-9 y 3.10 y además después de las primeras grietas se registran medidas erróneas, esto fue verificado al momento de tabular los datos, por lo tanto, esta metodología de medición empleada en esta investigación solo es válida para el rango lineal.

En la siguiente figura 4-1 podemos observar los registros del LVDT 1 y LVDT 3 para el prisma P-2.

**FIGURA 4-1:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL PRISMA P-2




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

En su investigación Flores, A. sobre “MODELOS ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA MAMPOSTERÍA FABRICADA EN MÉXICO D.F” plantea un método para la corrección de las curvas carga vs desplazamiento basado en un análisis realizado por Priestley M. y Elder D. en 1982, el cual plantea como hipótesis que el daño se presenta en la parte central de la probeta, despreciando así los efectos de confinamiento en las primeras hiladas (FLORES, 2010a).

Los datos utilizados son los registros del LVDT 1 y LVDT 3, los datos del LVDT 2 se excluye del análisis de datos ya que las medidas registradas son muy dispersas a comparación con los datos del LVDT 3.

La ecuación utilizada para corregir los desplazamientos de los LVDTS es la siguiente:

$$\delta_{corregido} = \delta_{mu} - \Delta t - f * P \qquad \textbf{4-1}$$

Dónde:

$\delta_{mu}$ = Desplazamiento registrado en el LVDT 1 (mm)

Δt = Desplazamiento debido al reacomodo del refrentado y dispositivo de carga.

f = Flexibilidad del dispositivo de carga.

P = Carga correspondiente al desplazamiento registrado del LVDT 1 (t).

Para poder obtener el valor de Δt es necesario conocer la ecuación lineal del tramo elástico de la curva del LVDT 1.

La ecuación del LVDT 1 se presenta de la siguiente manera:

$$P = A_{mu} * \delta_{mu} + B_{mu} \qquad \textbf{4-2}$$

Dónde:

$A_{mu}$ = Es la pendiente correspondiente de la curva

$B_{mu}$ = Es el valor de origen o el valor donde la carga será igual a cero.

El valor del desplazamiento Δt se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\Delta t = -\frac{B_{mu}}{A_{mu}} \qquad \textbf{4-3}$$

Para poder obtener el factor de flexibilidad del dispositivo de carga, f, es necesario tomar en cuenta un registro de desplazamientos de la máquina de ensayo directamente, pero al ser físicamente complicado de llevar registro, porque depende del tipo de máquina y se necesita instrumentación adicional para conseguirlo

(FLORES, 2010a), se procede a calcular mediante la ecuación 4.4, la cual relaciona las pendientes de la curva de carga-desplazamiento del LVDT 1 y el LVDT 3.

$$f = f_{mu} - f_{td} = \frac{1}{A_{mu}} - \frac{1}{A_{td}} \qquad \textbf{4-4}$$

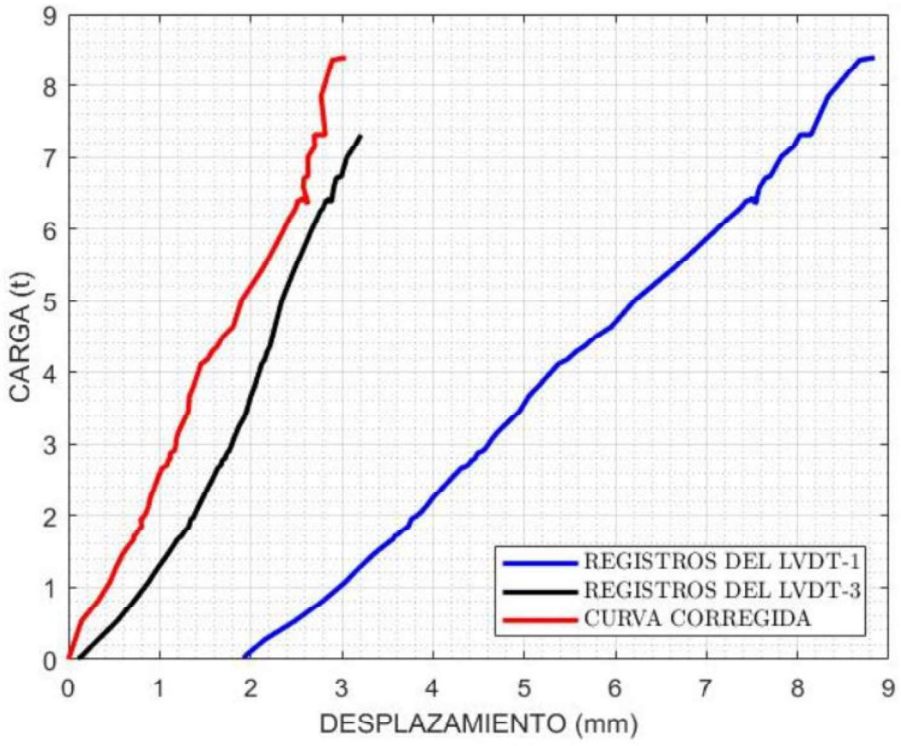
Dónde:

$A_{td}$ = Es la pendiente correspondiente de la curva ascendente del LVDT 3.

En la figura 4-2 se puede observar la corrección que se realizó a la curva carga vs desplazamiento del prisma P-2.

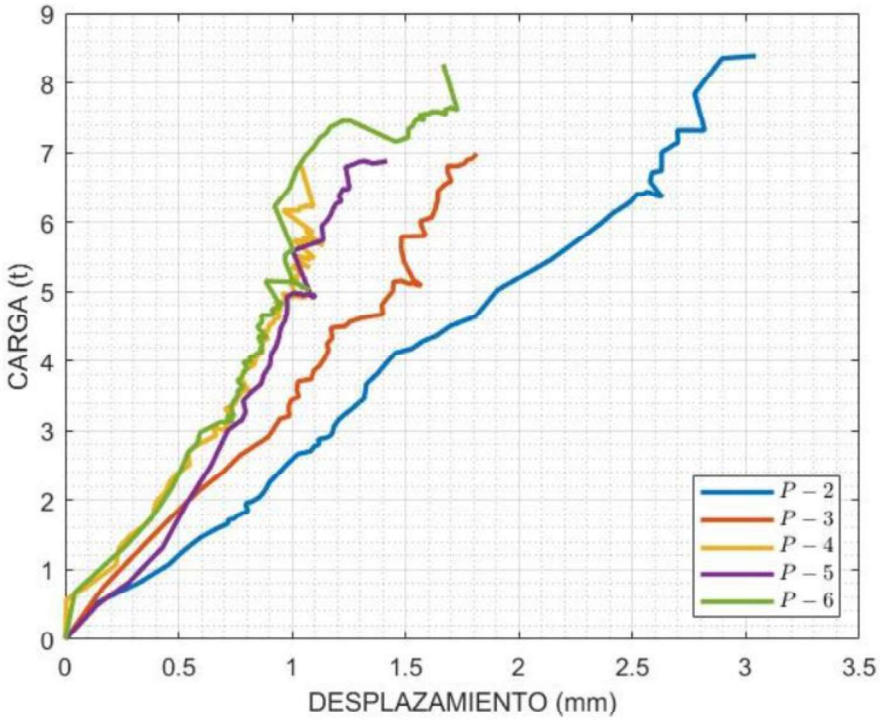
Las diferentes curvas corregidas de carga vs desplazamiento de prismas y muretes están representadas en la figura 4-3 y 4-4.

**FIGURA 4-2:** CURVA CARGA VS DESPLAZAMIENTO DEL PRISMA P-2



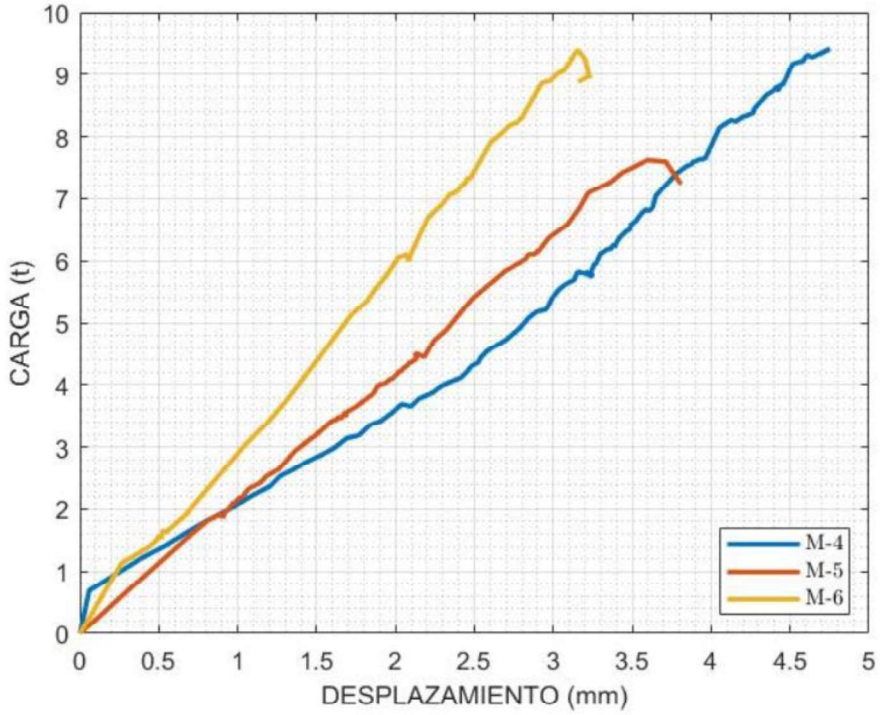

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FIGURA 4-3:** CURVAS CARGA VS DESPLAZAMIENTO DE PRISMAS




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FIGURA 4-4:** CURVAS CARGA VS DESPLAZAMIENTO DE MURETES



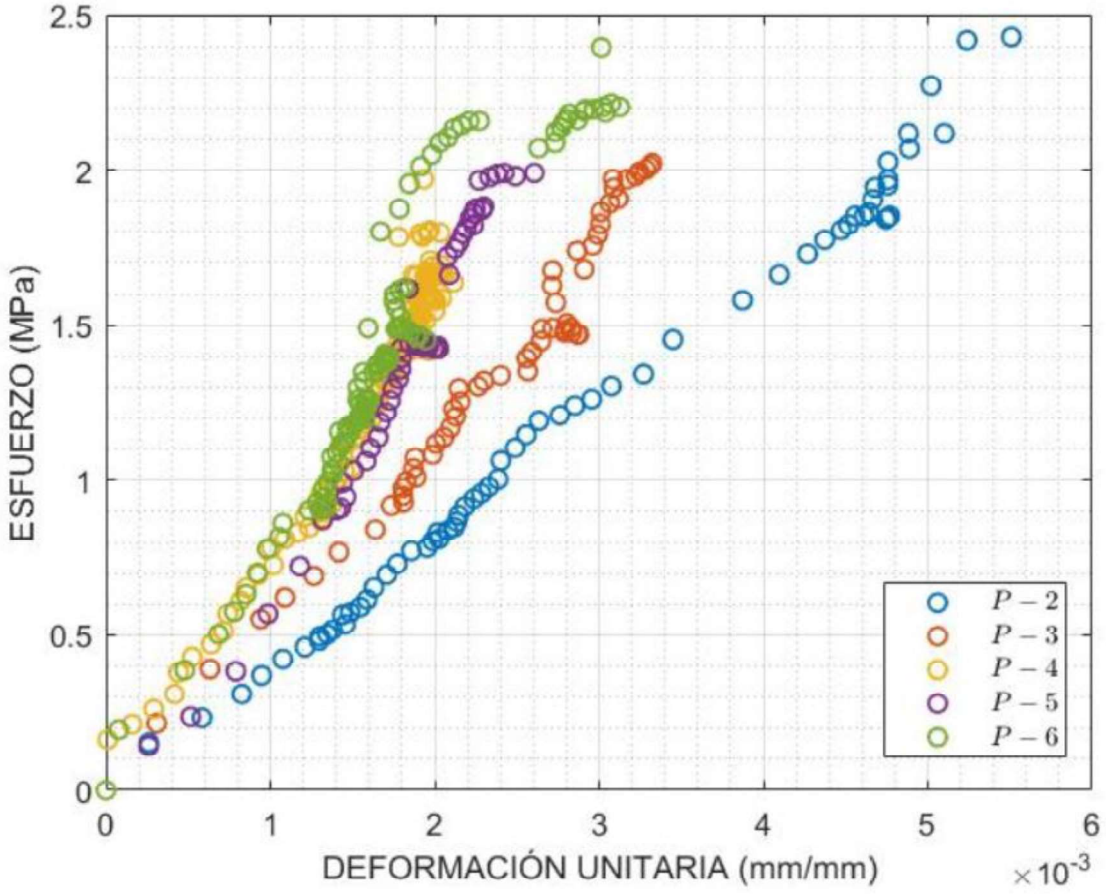

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

### 4.2.2 CURVAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA DE LA MAMPOSTERÍA

Mediante las curvas carga vs desplazamiento se procede a obtener el esfuerzo de cada probeta dividiendo la carga a la que está sometida la probeta para el área de contacto; en los prismas el área es de 290.05 $cm^2$ y en los muretes es de 477.84 $cm^2$. De la misma manera la deformación unitaria se obtiene dividiendo el desplazamiento registrado por cada probeta para su respectiva altura las cuales se especifican en la tabla 3-17 para los prismas y la tabla 3-18 para los muretes.

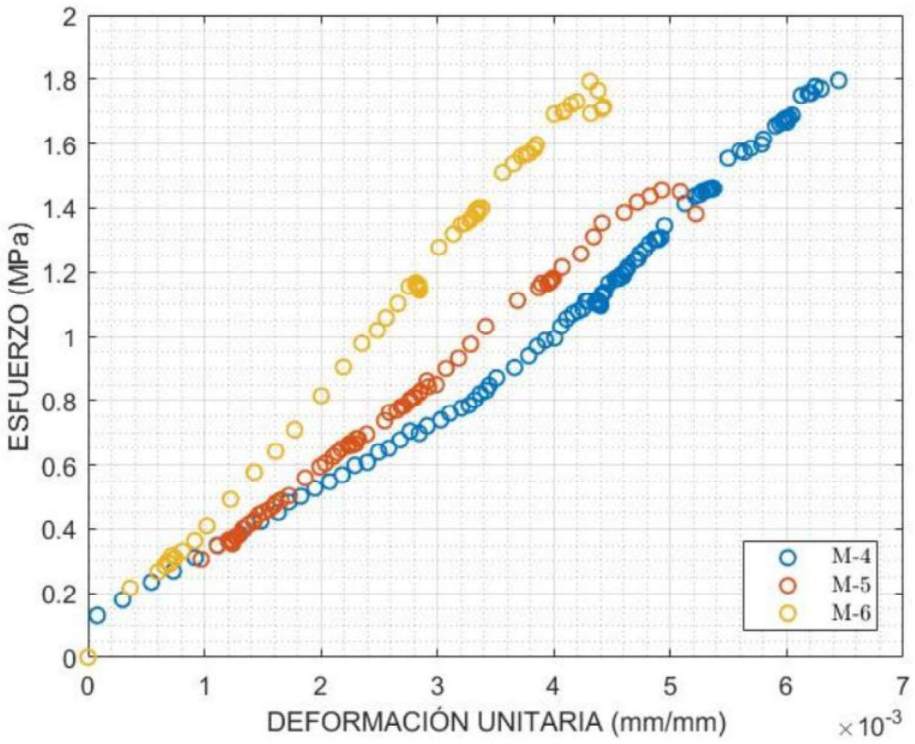
Realizado todo este proceso se obtiene las curvas esfuerzo vs deformación de prismas y muretes, las cuales se representan como gráficos de dispersión de puntos para posteriormente ser analizadas y obtener una curva representativa.

**FIGURA 4-5:** CURVAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE PRISMAS




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FIGURA 4-6:** CURVAS ESFUERZO VS DEFORMACIÓN DE MURETES

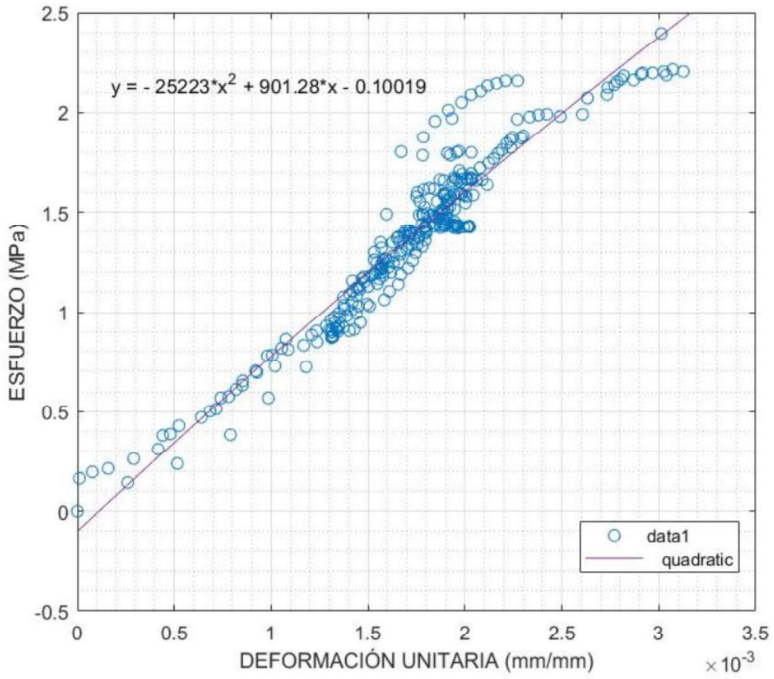



**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Los resultados de la figura 4-5 y figura 4-6 deben ser analizados y por lo tanto se procede a obtener el coeficiente de determinación o corrección múltiple $R^2$, el cual indica el grado de asociación o relación entre las variables. El rango de $R^2$ es de 0 a 1; valores cercanos a 1 indican un grado mayor de asociación entre las variables analizadas siendo la confiable regresión, por el contrario, al acercarse a 0 el grado de asociación entre las variables empeora y por lo tanto el grupo de variables son menos confiables.

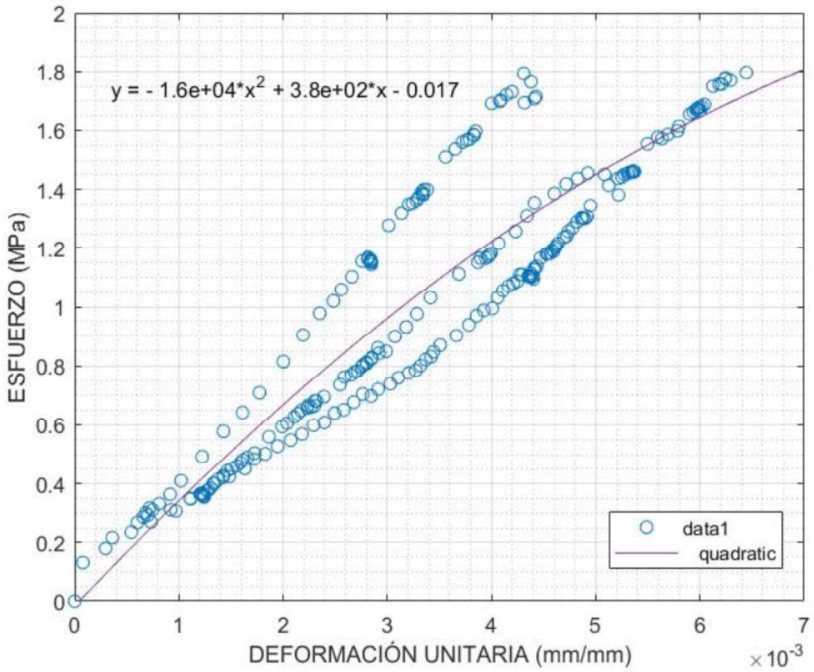
Para poder determinar una curva esfuerzo vs deformación representativa tanto para los prismas y muretes, fue necesario eliminar en los prismas los datos registrados P-2 y P-6 obteniendo como resultado un $R^2 = 0.914$; en los muretes se obtuvo un $R^2=0.89$ no se procedió a eliminar ninguna probeta debido a que se cuenta con pocos registros validos en los muretes.

**FIGURA 4-7:** CURVA REPRESENTATIVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA PRISMAS




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**FIGURA 4-8** CURVA REPRESENTATIVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN PARA MURETES



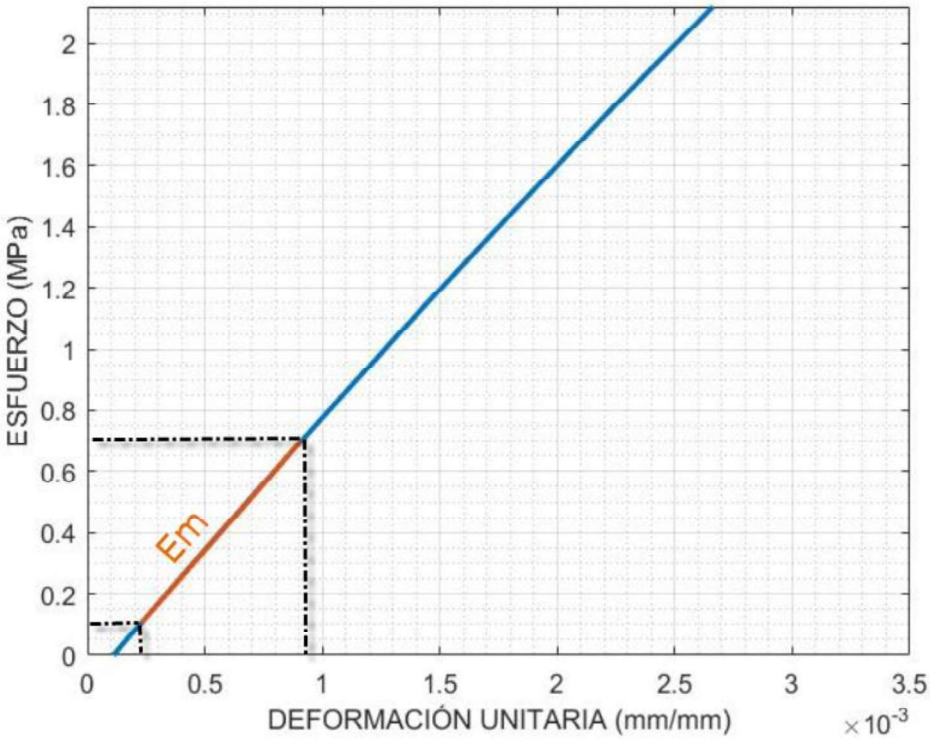

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

### 4.2.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD EXPERIMENTAL DE LA MAMPOSTERÍA

El módulo de elasticidad secante teórico de la mampostería se calcula al 5 y 33 % del $(f'_m)$ esfuerzo máximo alcanzado por las probetas con sus respectivas deformaciones.

Mediante la ecuación teórica de la curva obtenida en los prismas se determinó el módulo de elasticidad el cual se presenta en la tabla 4-3.

**FIGURA 4-9:** OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA PRISMAS




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

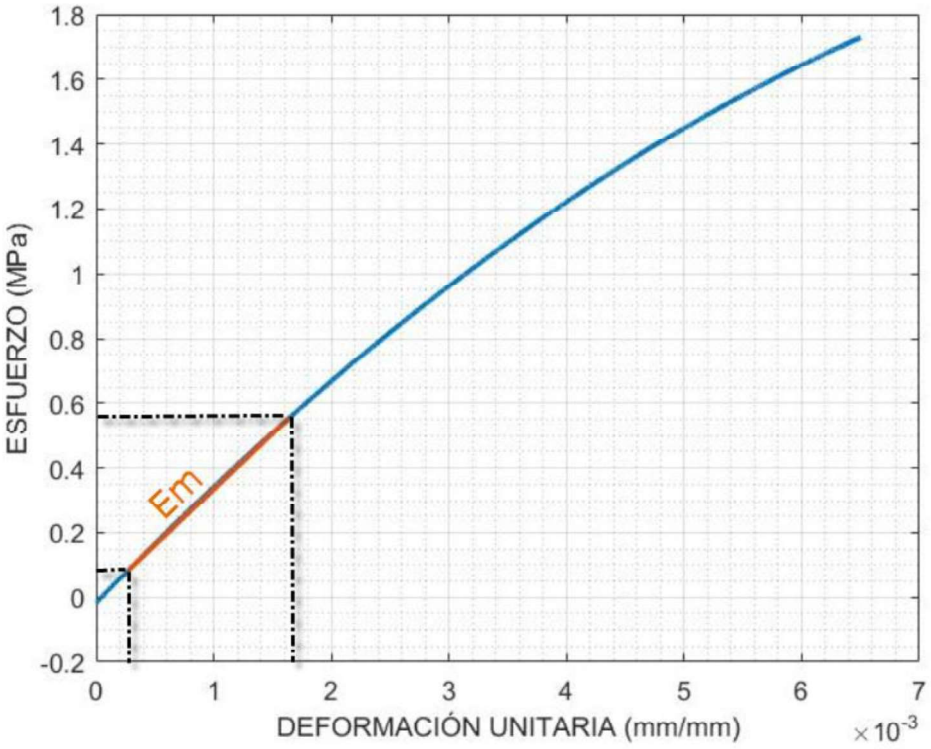
**TABLA 4-3** CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD PARA PRISMAS

| PUNTO | ESFUERZO (MPa) | DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm) |
|---|---|---|
| **fmax** | 2.1187 | 0.0027 |
| **0.05*fm** | 0.1059 | 0.0002301 |
| **0.33*fm** | 0.6992 | 0.0009101 |
| **Em (MPa)** | **872.52** | |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

De la misma manera mediante la ecuación teórica obtenida para los muretes se determinó el módulo de elasticidad secante el cual se presenta en la tabla 4-4.

**FIGURA 4-10**: OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE PARA MURETES




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**TABLA 4-4** CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE PARA MURETES

| PUNTO | ESFUERZO (MPa) | DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm) |
|---|---|---|
| **fmax** | 1.68 | 0.0062 |
| **0.05*fm** | 0.084 | 0.00027234 |
| **0.33*fm** | 0.5544 | 0.0016 |
| **Em (MPa)** | **354.31** | |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

## 4.3 MODELOS ANALÍTICOS

### 4.3.1 MODELO DE HILSDORF PARA LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA

A continuación, se determina la resistencia a compresión específica ($f'_m$) de la mampostería basándose en el modelo analítico de Hilsdorf, modelo formulado en la sección 2.5.1 con sus respectivas ecuaciones. En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos.

**TABLA 4-5:** ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA MAMPOSTERÍA - HILSDORF

| PARÁMETRO | SIMBOLOGÍA | UNIDAD | VALOR |
|---|---|---|---|
| Espesor de mortero | j | mm | 10 |
| Altura del bloque | b | mm | 177 |
| Resistencia a compresión (bloque) | f'cb | MPa | 4.430 |
| Coeficiente de relación | c | - | 0.340 |
| Resistencia a tensión (bloque) | f'tb | MPa | 0.716 |
| Resistencia a compresión (mortero) | f'j | MPa | 3.840 |
| Coeficiente de confinamiento (mortero) | m | - | 4.100 |
| Factor alfa | α | - | 0.014 |
| Coeficiente de uniformidad | u | - | 1.500 |
| **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESPECÍFICA O DE DISEÑO** | f'm | MPa | **2.92** |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Al realizar el respectivo análisis se puede observar que, al comparar la resistencia a compresión experimental con la analítica, se presentan errores muchos mayores a los esperados como se muestra en la tabla 4-6. Esto puede ser causado principalmente por la idealización del método como también por los parámetros asumidos, según la revisión bibliográfica, como el coeficiente de confinamiento y el coeficiente de no uniformidad, que son las principales variables que no se miden directamente en esta investigación.

**TABLA 4-6:** ERROR PORCENTUAL DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

| RESISTENCIA A COMPRESIÓN ESPECÍFICA $f'_m$ | UNIDAD | VALOR | ERROR (%) |
|---|---|---|---|
| HILSDORF | MPa | 2.92 | - |
| MURETE | MPa | 1.68 | 42.5 |
| PRISMA | MPa | 2.12 | 27.4 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

### 4.3.2 AJUSTE DEL MODELO DE HILSDORF PARA LA MAMPOSTERÍA INOVA TK

El ajuste del modelo se enfoca en la variación del coeficiente de no uniformidad. Hilsdorf determinó en su estudio que la carga externa, la resistencia a compresión del mortero y la trabajabilidad es función del coeficiente de no uniformidad; al aumentar la carga externa y la resistencia a compresión del mortero, el coeficiente de no uniformidad disminuye mientras que si se tiene morteros con baja trabajabilidad el coeficiente de no uniformidad aumenta (Hilsdorf, 1969). Por lo tanto, se determina que U no es constante y depende en gran medida de los parámetros expuestos, por lo que en base a investigaciones como las de Crisafulli, F. el cual determina un rango entre 1.35 a 2.18, y Sahlin, S. que propone una ecuación para morteros con una resistencia menor a 28 MPa (Crisafulli, 1997) se estima su valor.

$$U = 2 - \frac{f'_j}{35} \qquad 4\text{-}5$$

En base a lo expuesto, se presenta la siguiente tabla en la que se puede observar iteraciones con valores de U dentro del rango de Crisafulli y tomando en cuenta el valor propuesto por Sahlin, S.

**TABLA 4-7:** AJUSTE DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MÉTODO DE HILSDORF

| AJUSTE | COEFICIENTE (U) | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ESPECÍFICA MÉTODO HILSDORF (MPa) | ERROR (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | PRISMA | MURETE |
| 1 | 1.35 | 3.25 | 34.71 | 48.26 |
| 2 | 1.45 | 3.02 | 29.88 | 44.43 |
| 3 | 1.55 | 2.83 | 25.04 | 40.60 |
| 4 | 1.65 | 2.66 | 20.20 | 36.76 |
| 5 | 1.75 | 2.50 | 15.37 | 32.93 |
| 6 | 1.89 | 2.32 | 8.60 | 27.57 |
| 7 | 1.95 | 2.25 | 5.69 | 25.27 |
| 8 | 2.05 | 2.14 | 0.86 | 21.43 |
| 9 | 2.15 | 2.04 | 3.98 | 17.60 |
| 10 | 2.18 | 2.01 | 5.43 | 16.45 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

El coeficiente de no uniformidad para el bloque INOVA TK, u otro bloque con las mismas características, determinado en esta investigación es de 2.15. Este valor predice la resistencia a compresión de la mampostería entre un 4% a 18% para prismas y muretes respectivamente.

### 4.3.3 MODELO PROPUESTO PARA OBTENER LA CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA DE PRIESTLEY M. Y ELDER D. PARA LA MAMPOSTERÍA.

La ecuación 2-37, que corresponde al tramo ascendente o tramo elástico del modelo de Priestley y Elder, está limitada por las deformaciones unitarias para prismas no confinados, este modelo plantea una deformación de 0.0015 correspondiente a la resistencia a compresión máxima ($f'_m$), por lo cual, no refleja el comportamiento real de la mampostería estudiada en esta investigación, ya que las deformaciones unitarias alcanzadas son del 0.0027 para prismas y 0.006 para muretes, siendo necesario un reajuste del modelo modificado de Kent y Park basándonos en la metodología presentada por Priestley M. y Elder D.

Partiendo de la ecuación 2-32 y tomando en cuenta la deformación unitaria de 0.002 propuesta en el modelo modificado de Kent y Park se obtiene:

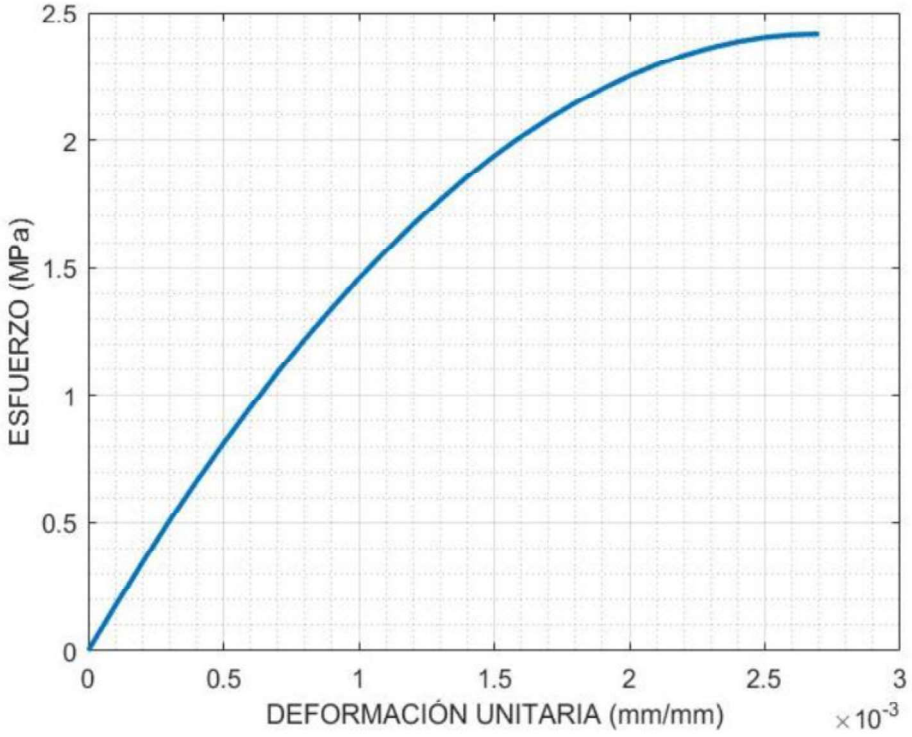
$$f_m = k\, f'_{mi} * \left[\frac{2 * 0.0027}{0.002\ k} - \left(\frac{0.0027}{0.002\ k}\right)^2\right]$$

El valor de K para mampostería no confinada es igual a 1, f'm es la resistencia a la compresión de los prismas no confinados y $f_{mi}$ es el nuevo valor de resistencia a compresión necesaria para graficar el tramo ascendente de la curva esfuerzo vs deformación. Por consiguiente, la ecuación que se utiliza para graficar el tramo ascendente de carga para los prismas es la siguiente:

$$f_m = 1.1396\, f'_{mi} * \left[\frac{2\varepsilon_c}{0.0027} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.0027}\right)^2\right];\ 0 \le \varepsilon_c \le 0.0027 \qquad \textbf{4-6}$$

La ecuación 4-6 se utiliza para obtener el tramo ascendente de la curva esfuerzo vs deformación, se empleará hasta alcanzar la deformación unitaria correspondiente al esfuerzo máximo.

**FIGURA 4-11:** MODELO DE PRIESTLEY Y ELDER PARA PRISMAS




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Realizando el mismo procedimiento para los muretes se obtiene la siguiente ecuación:

$$f_m = k\, f'_{mi} * \left[\frac{2 * 0.0061}{0.002\ k} - \left(\frac{0.0061}{0.002\ k}\right)^2\right]$$

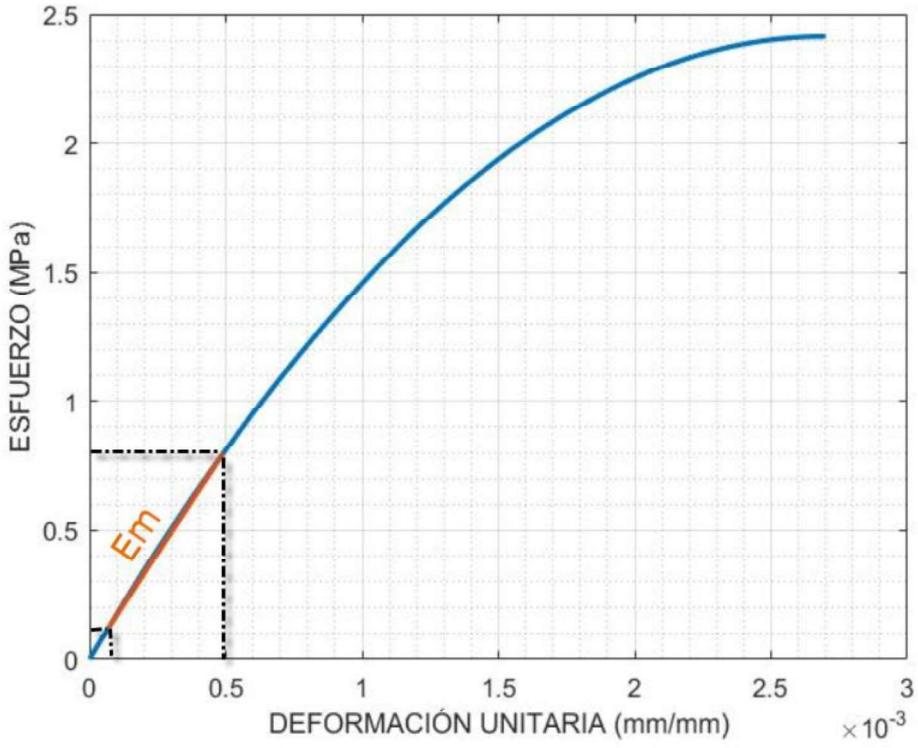
$$f_m = -0.3123\, f'_{mi} * \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_o} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o}\right)^2\right];\ 0 \leq \varepsilon_c \leq 0.0061 \qquad \textbf{4-7}$$

La ecuación 4-7 se utiliza para obtener el tramo ascendente de la curva esfuerzo vs deformación. Sin embargo, los resultados presentados no son representativos ya que todos los valores obtenidos son erróneos, así pues, esta metodología únicamente es válida para probetas que presenten deformaciones unitarias menores a 0.004.

### 4.3.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE DE LA MAMPOSTERÍA SEGÚN LA CURVA ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA BASADO EN LA METODOLOGÍA DE PRIESTLEY M. Y ELDER D PARA MAMPOSTERÍA.

El módulo de elasticidad secante calculado por la ecuación 4.6 se presenta en la siguiente figura y es detallado en la tabla 4.8.

**FIGURA 4-12:** OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE PARA PRISMAS SEGÚN PRIESTLEY M. Y ELDER D.




**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

**TABLA 4-8:** CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE PARA PRISMAS

| MÓDULO DE ELASTICIDAD OBTENIDO MEDIANTE EL MODELO ANALÍTICO | | |
|---|---|---|
| **PUNTO** | **ESFUERZO (MPa)** | **DEFORMACIÓN UNITARIA (mm/mm)** |
| **fmax** | 2.4145 | 0.0027 |
| **0.05*fm** | 0.1207 | 0.000068365 |
| **0.33*fm** | 0.7968 | 0.00048995 |
| **Em (MPa)** | **1603.71** | |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

Los módulos de elasticidad secante obtenidos de manera experimental, teórica y analítica son resumidos en la siguiente tabla.

**TABLA 4-9:** RESUMEN DE LA OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD SECANTE.

| | MODELO ANALÍTICO | NEC-SE-MP | EXPERIMENTAL |
|---|---|---|---|
| **PROBETAS** | Em [MPa] | Em [MPa] | Em [MPa] |
| **PRISMAS** | 1603.71 | 1906.74 | 872.52 |
| **MURETES** | - | 1512 | 354.31 |

**REALIZADO POR:** LÓPEZ & MANOBANDA

De acuerdo con la tabla 4.9 se puede observar que ningún modelo o ecuación se ajusta al módulo de elasticidad secante obtenido experimentalmente.

# CAPÍTULO V

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

Con respecto a los materiales constituyentes de la mampostería

- El bloque Innova Tk al ser realizado por un proceso artesanal y no existir un control de calidad adecuado, todo esto reflejó resultados dispersos en las dimensiones y en la resistencia a compresión, desencadenando que el bloque sea vulnerable al daño en el proceso de transporte al lugar de la obra, por la carga y descarga del bloque, ocasionando un porcentaje de desperdicio considerable o el uso de estos bloques dañados en la mampostería. En este proyecto de investigación se obtuvo un porcentaje de desperdicio del 30%.
- El porcentaje de absorción del bloque Inova Tk es del 15%, encontrándose en el límite superior permitido por la norma INEN 3066. Esta característica juega un papel importante al momento de ensayar las probetas a tensión diagonal ya que influye en la adherencia que presenta el bloque y el mortero de pega.
- Las muescas, que son elementos propios del bloque Inova Tk, no proporcionaron una buena trabazón ni adherencia entre estos e incluso con la mínima manipulación sufrían daños, por lo tanto, las muecas son elementos innecesarios y no funcionales implementadas en el bloque.
- Como bien se planteó la metodología para un estudio de mampostería estructural, dado el caso, el bloque Inova Tk no cumplió con los requisitos mínimos establecidos por la NTE INEN 3066 quedando relegado a su uso únicamente para divisiones internas, por lo cual, los ensayos y dosificación para el mortero de pega fueron enfocados a la construcción de una mampostería no estructural determinando así las características mecánicas de la mampostería en base al material existente.

Con respecto a los ensayos en prismas y muretes

- De las curvas esfuerzo-deformación obtenidas experimentalmente tanto de prismas como de muretes, se puede concluir que existe una gran dispersión entre probetas debido a que el bloque Inova Tk no presenta un control de calidad con respecto a su resistencia, esto se deduce a partir de los ensayos realizados en los 6 especímenes de bloques.
- Al comparar los resultados obtenidos en los ensayos a compresión de los primas con los muretes, se refleja una variación de la resistencia de alrededor de un 20%, siendo la resistencia del prisma mayor, así también el módulo de elasticidad difiere en un 60%. Por lo cual, se puede concluir que la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad secante determinados mediante los ensayos de prismas no reflejan el real comportamiento de la mampostería construida in situ.
- La resistencia a compresión de la mampostería queda definida por el rango $1.68 \leq f'_m \leq 2.12\ \mathrm{MPa}$ y se recomienda utilizar un valor promedio de 1.92 MPa para mampostería con similares características.
- Con respecto al módulo de elasticidad, este puede variar entre el rango $354.3 \leq E_m \leq 873.52\ \mathrm{MPa}$, recomendando un valor promedio de 613.9 MPa para mampostería con similares características.
- En caso de no poder realizar los ensayos experimentales para la mampostería, con características similares a las planteadas en esta investigación, se puede emplear la siguiente ecuación calibrada para obtener el módulo de elasticidad tangencial, basado en los ensayos realizados.

$$E_m = 320 * f'm\ [\mathrm{MPa}]$$

Con respecto a los modelos analíticos

- El modelo analítico propuesto por Hilsdorf, aunque parte de suposiciones bastante generales o conceptualizaciones erróneas, entrega resultados en un rango del 20% para bloques de alta o mediana resistencia, mientras que para bloques clase B o de fabricación artesanal el error es mayor llegando hasta un 42% en muretes y 27% en prismas, tomando en cuenta las características de la mampostería ensayada.

- Del modelo analítico propuesto por Priestley, M. y Elder, D se puede concluir que, aunque se haya analizado mampostería reforzada y mampostería simple, el tramo elástico del modelo no se puede generalizar ya que una de las principales variables es la deformación unitaria y para mampostería con grandes deformaciones asociadas a la máxima resistencia a compresión alcanzada y de baja resistencia el modelo no aplica, para ser más exactos a deformaciones mayores o iguales al 0.4%.
- El modelo analítico de Priestley, M. y Elder, D. para curvas esfuerzo-deformación y el modelo de Hilsdorf para determinar la resistencia a compresión no predicen o reflejan el comportamiento real de la mampostería constituida por el bloque Inova Tk, esto se deduce en base a los valores comparados, por lo cual, para bloques con baja resistencia estos modelos no son recomendados como herramientas de diseño, por lo contrario, para mampostería de alta resistencia estos modelos reflejan valores muy cercanos, esto se deduce en base a la bibliografía consultada de ensayos experimentales.
- Aunque se haya realizado los respectivos ajustes a los modelos analíticos, sigue existiendo un error considerable, pero aceptable en el caso del modelo de Hilsdorf y en el modelo de Priestley M. y Elder D. un error considerable, por lo cual es necesario realizar un ajuste más detallado mediante una fase experimental más amplia para ambos modelos.
- El módulo de elasticidad obtenido por el modelo analítico de Priestley y Elder tiene un 83.80% de error, el módulo de elasticidad obtenido por ecuaciones teóricas según la NEC-SE-MP tiene un 118.53% de error respecto al módulo de elasticidad secante experimental. Por lo que es preferible determinar el módulo de elasticidad secante de manera experimental.

Con respecto a la resistencia a corte

- El ensayo a tensión diagonal no se pudo realizar debido a la baja adherencia que presentaron las probetas, ocasionando una temprana falla por corte al momento de su traslado. Por lo tanto, la resistencia a tracción diagonal o

corte se determinó mediante la ecuación teórica normada en la MSJC $G_m = 0.4 * E_m$ .

$$Gm = 245.56\ [MPa]$$

En base a todo lo expuesto, la mampostería conformada por el bloque Inova Tk presenta un bajo desempeño ante solicitaciones relativamente bajas, este tipo de mampostería no aporta en lo absoluto en el desempeño estructural por sí misma, por lo cual, no presenta una mayor ventaja en su utilización para el desarrollo del proyecto "VIVIENDA INOVA TK" y si no existe una mejora en los materiales que la constituyen, principalmente en el bloque Inova Tk, este tipo de mampostería queda relegado únicamente para el uso en divisiones internas de edificaciones.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- La empresa que oferta el bloque Inova Tk debe realizar una mejor dosificación de este, para alcanzar resistencias mayores, disminuir el porcentaje de absorción, obtener dimensiones uniformizadas y así poder emplear el bloque como parte de una mampostería estructural, teniendo en cuenta que el bloque debe cumplir con la resistencia mínima requerida de 13.8 MPa para ser utilizado en mampostería estructural.
- En caso de mantenerse la geometría inicial del bloque Inova Tk y continuar con la idea de emplear el bloque con una junta de mortero mínima o sin la inclusión de este; se deberá realizar ensayos previos a la construcción de las probetas de mampostería. El ensayo de CORTE DIRECTO EN TRIPLETES y el ensayo de ADHESIÓN DE DUPLAS son necesarios para determinar y garantizar un correcto trabajo entre el bloque y mortero determinando la adhesión y fricción.
- Las dosificaciones para mortero de pega y hormigón líquido presentadas en este proyecto de investigación se podrán utilizar siempre y cuando, cumplan con los límites de fluidez y los elementos que constituyan el mortero de pega sean exclusivamente: cemento Holcim Tipo Gu y arena no lavada proveniente de la mina de Pifo-Holcim.
- Para la construcción de probetas de hormigón líquido o grout es de suma importancia que el material utilizado tenga el mismo porcentaje de absorción

que los bloques que conforman la mampostería, ya que de este parámetro dependerá en gran medida la resistencia final alcanzada.

- Se recomienda que los prismas y muretes sean construidos sobre la plataforma o base en la que se van a ensayar para así facilitar su movilidad al lugar de ensayo y tratar de generar los menores esfuerzos posibles por el movimiento, además se recomienda que la celda de carga este perfectamente alineada con el eje de la probeta para no generar momentos inducidos por la excentricidad y que la carga se distribuya de manera uniforme.
- Con respecto a la implementación de los dispositivos se recomienda a más de usar los LVDTs, utilizar otros instrumentos como deformímetros o cualquier equipo de control de movimiento que permita corroborar los registros obtenidos por los LVDTs, así también, que los dispositivos empleados sean implementados directamente sobre la probeta a un quinto de sus bases.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*ACI 530-05 (2011). Building Code Requirements for Masonry Structures. Tms 402-11, 158.*

*ASTM C1019 (2016). Standard Test Method for Sampling and Testing Grout 1. ASTM International.*

*ASTM C1314 (2016). Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms. ASTM International.*

*ASTM C1552-16 (2016). Standard Practice for Capping Concrete Masonry Units, Related Units and Masonry Prisms for Compression Testing. ASTM International.*

*ASTM C270-14a (1995). Standard Specification for Extended Life Mortar for Unit Masonry. ASTM International.*

*ASTM C404. (2018). Standard Specification for Aggregates for Masonry Grout. ASTM International.*

*ASTM C476 (2018). Standard Specification for Grout for Masonry. ASTM International.*

*Chiriboga, J. (2019). Análisis técnico económico del sistema de mampostería reforzada propuesto para la losa de la casa tipo a del conjunto residencial centro mundo II, Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.*

*Crisafulli, F. J. (1997). Seismic Behaviour Of Reinforced Concrete Structures With Masonry Infills. New Zealand: University Of Canterbury.*

*Egas, M. (2016). El Terremoto Afecto a 24.013 Edificaciones. El Telégrafo. Recuperado de https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/ecuador/3/el-terremoto-afecto-a-24-013-edificaciones*

*Escamilla, M. (2010). Estudio Comparativo de las Tendencias Actuales del Método del Empujón Para la Evaluación de Estructuras Reticulares. Distrito Federal de México: UNAM.*

*Flores, A. (2010). Modelos Esfuerzo Deformación para Mampostería Fabricada en México D.F. México D.F. México: Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.*

*Gonzáles, J., & Torres, J. (2010). Comparación de resultados entre refrentado de neopreno y yeso en unidades de mampostería y muretes fallados a compresión. Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontificada Bolivariana.*

*González, J. (2016). Estudio Del Mortero De Pega Usado En El Cantón Cuenca. Propuesta De Mejora, Utilizando Adiciones De Cal. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.*

*Gualacata, R., & Ortega, J. (2017). Determinación experimental de la resistencia asociada a la falla por tracción diagonal de dos tipos de mampostería simple: bloque y ladrillo para ser usados en modelos computacionales. Quito, Ecuador: Escuela politécnica nacional*

*Hilsdorf, H. K. (1969). Investigation into the Failure Mechanism of Brick Masonry Loaded in Axial Compression. Designing, Engineering, and Constructing with Masonry Products.*

*INEN 0155. (2009). Cemento hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica. Requisitos.*

*INEN 0488. (2009). Cemento hidráulico. Determinación de la resitencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista. Requisitos.*

*INEN 2502. (2009). Cemento hidráulico. Determinación del flujo en morteros. Requisitos.*

*INEN 2518. (2010). Morteros para unidades de mampostería. Requisitos.*

*INEN 2536. (2010). Áridos para uso en mortero para mampostería. Requisitos.*

*INEN 3066. (2016). Bloques De Hormigón. Requisitos Y Métodos De Ensayo. Requisitos.*

*Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2011). La informalidad en la construcción es el mayor riesgo en un terremoto. Quito, Ecuador. Recuperado de: https://www.igepn.edu.ec/noticias/381-la-informalidad-en-la-construcci%C3%B3n-es-el-mayor-riesgo-en-un-terremoto.*

*López, J., Oller, S. & Oñate, E. (1998). Cálculo del comportamiento de la mampostería mediante elementos finitos.*

*López, K., & Ushiña, W. (2017). Determinación del modulo de elasticidad de mampostería de bloque no estructural utilizada en la vivienda ecuatoriana proyecto. Quito, Ecuardor: Escuela Poliécnica Nacional.*

*Luna, G. (2014). Estudio Del Hormigón. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.*

*Martínez, A. (2009). Análisis comparativo de costos entre albañilería de bloques macizos de hormigón celulr y de bloques huecos de hormigón de cemento, utilizado como material alternativo en la construcción de muros y antepechos en obra ampliación mall plaza de los ríos, Vald.*

*Martínez, M., Museros, P., Poy, A., & Romero, M. (2013). Resistencia de materiales.*

*Medina, F. (2001). Mampostería Reforzada Interiormente Usos, Comportamiento y Diseño. Mampostería Antigua, México.*

*Moreno, N. (2017). Efecto de las fibras de acero sobre el confinamiento de columnas de concreto.*

*MSJC. (2013). Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures. In Masonry Standards Joint Committee.*

*NEC-SE-MP. (2015). Mampostería Estructural. Norma Ecuatoriana De La Construcción - NEC.*

*Nieto, L., Salazar, J. (1988). Determinación de la condición saturada y seca superficialmente(S.S.S) de agregados orgánicos para el hormigón ligero. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.*

*NSR-10. (2010). Título - D Mampostería Estructural. Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente.*

*NTCM-RCDF. (2004). Las Normas Técnicas Complementarias Del Reglamento De Construcciones Para El Distrito Federal. Gaceta Oficial Del Distrito Federal. México.*

*Pachano, F. A. (2018). Determinación de parámetros mecánicos para modelos no lineales de mampostería de relleno en pórticos de hormigón armado obtenidos de manera experimental. (October).*

*Park, R., Paulay, T. (1988). Estructuras de concreto reforzado.*

*Paulay, T., Priestley, M. J. . (1993). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. John Wiley & Sons Inc., New York.*

*Pérez, D., & López, G. (2017). Análisis del comportamiento mecánico del mortero de pega en función de las dosificaciones por proporción establecidas en el título D de la NSR-10. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.*

*Priestley, M. J. ., & Elder, D. M. (1982). Stress-Strain Curves For Unconfined And Confined Concrete Masonry.*

*Salazar, C., & Del Castillo, S. (2018). Fundamentos basicos de la Estadística.*

*Sanchez, F., & Robinson, T. (2015). Relacion de la resistencia a la compresion de cilindros ce concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 dias respecto a la resistencia a la compresion de cilindros de concreto a edad de 28 dias. UNIVERSIDAD*

*PRIVADA ANTENOR ORREGO.*

*Simba, E. (2007). La impermeabilización en construcciones nuevas y existentes.*

*Tena Colunga, A., & Miranda, E. (2003). Comportamiento mecánico de la mampostería. Edificaciones de Mampostería Para Vivienda.*

*Vallejo, L. I. G. (2002). Ensayo uniaxial o de compresión simple. Ingeniería Geológica.*

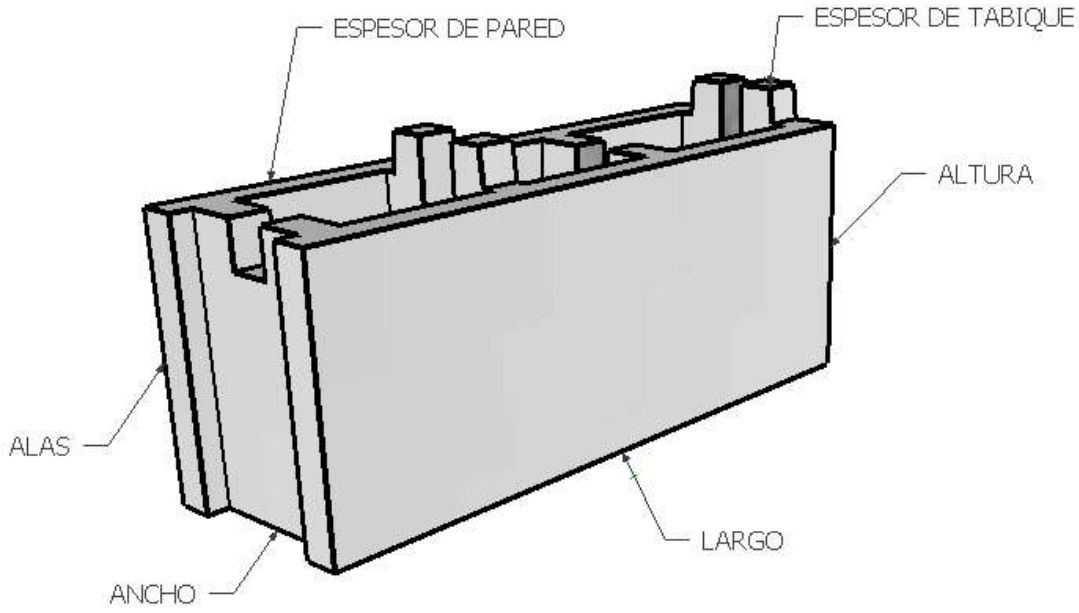
*Zimmermann, F. (2004). Estadística para investigadores. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.*

# ANEXOS

# ANEXO I

DIMENSIONES REALES DEL BLOQUE INOVA

| ID | LARGO | ANCHO | ALTURA | ESPESOR DE PARED | ESPESOR DE TABIQUE | | | | ALAS | LONGITUD PARCIAL | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | 44.55 | 14.08 | 17.61 | 2.35 | 2.56 | 2.51 | 2.46 | 2.60 | 1.50 | 10.88 | 10.43 | 11.47 |
| B2 | 44.60 | 14.02 | 17.84 | 2.37 | 2.57 | 2.54 | 2.47 | 2.65 | 1.46 | 10.97 | 10.54 | 11.48 |
| B3 | 44.69 | 13.92 | 17.64 | 2.24 | 2.50 | 2.52 | 2.51 | 2.71 | 1.50 | 10.92 | 10.44 | 11.95 |
| B4 | 44.70 | 14.03 | 17.54 | 2.36 | 2.55 | 2.57 | 2.43 | 2.63 | 1.42 | 10.91 | 10.43 | 12.02 |
| B5 | 44.69 | 14.03 | 17.75 | 2.38 | 2.58 | 2.60 | 2.51 | 2.68 | 1.45 | 10.98 | 10.51 | 11.98 |
| B6 | 44.75 | 13.94 | 17.55 | 2.33 | 2.53 | 2.50 | 2.50 | 2.70 | 1.46 | 10.95 | 10.51 | 12.00 |
| DIMENCIONES PROMEDIO REALES : | 44.66 | 14.00 | 17.65 | 2.34 | 2.55 | 2.54 | 2.48 | 2.66 | 1.46 | 10.93 | 10.48 | 11.82 |
| DIMENCIONES PROPUESTAS EN EL PLAN | 44.50 | 14.00 | 19.5 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.25 | 2.50 | 1.50 | 11.00 | 10.00 | 12.25 |



# ANEXO II

ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DENSIDAD DEL BLOQUE INOVA TK

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## ABSORCIÓN DE MAMPOSTERÍA

INF. No. 19-0243-I
Hoja 01 de 01

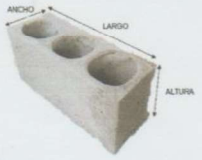
Quito, 14 de octubre de 2019

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ: JORGE LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López: Jorge Luis Manobanda
**Dirección:** Ladron de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN
**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICA DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA ESMPRESA INOVA TK.
**CONTRATISTA:** ELVIS LÓPEZ: JORGE LUIS MANOBANDA
**FISCALIZADOR:** ****
**MUESTRA:** ****
**NORMA:** INEN 3066:2016

**UNIDADES PARA ENSAYO DE ABSORCIÓN Y DIMENSIONES**

| No. | FECHA FÁBRICA | DESCRIPCIÓN | FECHA DE ENSAYO | EDAD (días) | ANCHO (cm) | LARGO (cm) | ALTO (cm) | MASA SATURADA (kg) | MASA SUMERGIDA (kg) | MASA SECA (kg) | ABSORCIÓN (%) | DENSIDAD ($kg/m^3$) | VOLUMEN NETO (mm3) | ÁREA NETA PROMEDIO (mm2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 13/06/2019 | B1 | 10/07/2019 | 27 | 14,08 | 43,05 | 17,61 | 9,90 | 4,80 | 8,55 | 15,74 | 1677,04 | 5100900 | 28965,93 |
| 2 | 13/06/2019 | B2 | 10/07/2019 | 27 | 14,02 | 43,15 | 17,84 | 10,20 | 4,96 | 8,85 | 15,20 | 1689,63 | 5239240 | 29367,94 |
| 3 | 13/06/2019 | B3 | 10/07/2019 | 27 | 13,92 | 43,20 | 17,64 | 9,86 | 4,77 | 8,59 | 14,81 | 1686,32 | 5095250 | 28890,10 |
| 4 | 13/06/2019 | B4 | 10/07/2019 | 27 | 14,03 | 43,28 | 17,54 | 9,36 | 4,37 | 8,21 | 13,94 | 1645,80 | 4989050 | 28443,84 |
| 5 | 13/06/2019 | B5 | 10/07/2019 | 27 | 14,03 | 43,25 | 17,75 | 10,37 | 5,11 | 9,12 | 13,75 | 1734,16 | 5258800 | 29624,26 |
| 6 | 13/06/2019 | B6 | 10/07/2019 | 27 | 13,94 | 43,29 | 17,55 | 9,38 | 4,34 | 8,05 | 16,63 | 1595,42 | 5043050 | 28735,33 |
| | | | | | | PROMEDIO | | 9,99 | 4,84 | 8,67 | 15,25 | 1684,33 | 5145130 | 29074,65 |

**OBSERVACIONES :** - El muestreo es responsabilidad del cliente.




ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

150 ANIVERSARIO | ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ABSBQR19-002-I.xlsx

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO III

RESISTENCIA A COMPRSIÓN DEL BLOQUE INOVA TK

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

## COMPRESIÓN DE MAMPOSTERÍA

INF. No. 19-0245-I
Hoja 1 de 1

Quito, 14 de octubre de 2019

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ; JORGE LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López; Jorge Luis Manobanda
**Dirección:** Ladron de Guevara E11-253 y Andalucia -EPN
**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICA DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA ESMPRESA INOVA TK.
**CONTRATISTA:** ****
**FISCALIZADOR:** ***
**FÁBRICA:** ***
**NORMA:** NTE INEN 3066:2016

**UNIDADES PARA ENSAYO A COMPRESIÓN**

| No. | FECHA FÁBRICA | DESCRIPCIÓN | FECHA DE ROTURA | EDAD | ANCHO | LARGO | ALTO | ÁREA | | CARGA ROTURA | ESFUERZO | | CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | NETA | BRUTA | | NETO | BRUTO | |
| | | | | (días) | (cm) | (cm) | (cm) | ($cm^2$) | ($cm^2$) | (ton.) | (MPa) | (MPa) | |
| 1 | 05-abr-19 | 124-01 | 06-may-19 | 31 | 14,08 | 43,05 | 17,61 | 272,6 | 606,0 | 12,07 | 4,34 | 1,95 | |
| 2 | 05-abr-19 | 124-02 | 06-may-19 | 31 | 14,02 | 43,15 | 17,84 | 270,7 | 605,1 | 14,84 | 5,38 | 2,40 | |
| 3 | 05-abr-19 | 124-03 | 06-may-19 | 31 | 13,92 | 43,20 | 17,64 | 259,9 | 601,3 | 10,83 | 4,08 | 1,77 | |
| 4 | 05-abr-19 | 124-04 | 07-may-19 | 32 | 14,03 | 43,28 | 17,54 | 268,7 | 607,1 | 13,47 | 4,92 | 2,18 | CLASE B |
| 5 | 05-abr-19 | 124-05 | 07-may-19 | 32 | 14,03 | 43,25 | 17,75 | 267,2 | 606,9 | 11,14 | 4,09 | 1,80 | |
| 6 | 05-abr-19 | 124-06 | 07-may-19 | 32 | 13,94 | 43,29 | 17,55 | 261,1 | 603,5 | 13,95 | 5,24 | 2,27 | |
| PROMEDIO BLOQUE | | | | | 14,01 | 43,13 | 17,70 | 267,75 | 604,12 | 12,58 | 4,60 | 2,04 | |

**OBSERVACIONES :**
* El muestreo es responsabilidad del cliente.
* La clasificación se realizó en base a la tabla 6 de la norma INEN 3066.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

150 ANIVERSARIO
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

BQR19-003-I.xlsx

Telf.: 2976300
Ext.: 1609
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO IV

DENSIDAD REAL Y APARENTE DEL CEMENTO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## DENSIDAD REAL Y APARENTE DEL CEMENTO

INF. No. 19 - 0155-I
**Hoja 05 de 05**

Quito, 27 de junio de 2019

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ; LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López; Luis Manobanda
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK

**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***
**MUESTRA:** HOLCIM TIPO GU
**NORMAS:** INDICADAS

| DENSIDAD REAL DEL CEMENTO (ASTM C 188-17) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| PRUEBA N° | unidad | 1 | 2 | 3 |
| Frasco N° | | 3159 | 3073 | 3159 |
| Lectura inicial | $cm^3$ | 0.66 | 0.68 | 0.21 |
| Peso Inicial | gr | 328.05 | 328.35 | 321.85 |
| Temperatura Inicial | °C | 20 | 20 | 20 |
| Lectura final | $cm^3$ | 22.9 | 18.6 | 18.9 |
| Peso final | gr | 392.9 | 379.55 | 375.35 |
| Temperatura Final | °C | 20 | 20 | 20 |
| Δ Temperatura | °C | 0 | 0 | 0 |
| Peso Cemento | gr | 64.85 | 51.2 | 53.5 |
| Volumen Cemento | $cm^3$ | 22.24 | 17.87 | 18.64 |
| Densidad Real | $gr/cm^3$ | 2.92 | 2.87 | 2.87 |

**Densidad Real Promedio:** 2.88 $gr/cm^3$

| DENSIDAD APARENTES DEL CEMENTO | | | | |
|---|---|---|---|---|
| PRUEBA N° | unidad | 1 | 2 | 3 |
| Molde N° | | A | B | C |
| Diámetro Ø | cm | 5.41 | 5.41 | 5.41 |
| Altura h | cm | 14.9 | 14.9 | 14.9 |
| Peso Molde | gr | 139.8 | 139.8 | 139.8 |
| Volumen Molde | $cm^3$ | 342.5 | 342.5 | 342.5 |
| Peso Molde + Cemento Suelto | gr | 475.5 | 478.7 | 481.75 |
| Peso Molde + Cemento Compactado | gr | 547.65 | 540.55 | 545.9 |
| Peso Cemento Suelto | gr | 335.7 | 338.9 | 341.95 |
| Peso Cemento Compactado | gr | 407.85 | 400.75 | 406.1 |
| Densidad Aparente Suelta | $gr/cm^3$ | 0.98 | 0.99 | 1.00 |
| Densidad Aparente Compactado | $gr/cm^3$ | 1.19 | 1.17 | 1.19 |

**Densidad Suelta Promedio:** 0.99 $gr/cm^3$
**Densidad Compactada Promedio:** 1.18 $gr/cm^3$

**OBSERVACIONES:** El muestreo, procedencia y la muestra como tal, son total y absoluta responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

150 ANIVERSARIO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**Telf.:** 2976300
**Ext.:** 1609

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO V

CONTENIDO DE MATERIAL ORGÁNICO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

INF No 19-024-I
Hoja 02 de 04

Quito, 28 de febrero de 2019

**SOLICITA:** MARCELA POMA PATIÑO; KARINA AGUIRRE MANOSALVAS
**Atención:** Marcela Poma Patiño; Karina Aguirre Manosalvas
**Dirección:** Ladron de Guevara E11-253 y Andalucia -EPN

**PROYECTO:** ANÁLISIS EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES ESTRUCTURALES ANTE CARGAS LATERALES DE UNA MAMPOSTERÍA REFORZADA UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK

**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***

**a. ARENA .**

**MINA:** PIFO

| **DENSIDADES APARENTES** | NORMA: ASTM C29, INEN 858 | |
|---|---|---|
| DENSIDAD SUELTA: | 1.505 | gr/cm$^3$ |
| DENSIDAD COMPACTADA: | 1.790 | gr/cm$^3$ |

| **PESO ESPECIFICO Y ABSORCION** | NORMA: ASTM C128, INEN 856 | |
|---|---|---|
| PESO ESPECIFICO : | 2.516 | gr/cm$^3$ |
| PESO ESPECIFICO SSS : | 2.599 | gr/cm$^3$ |
| ABSORCION DE AGUA : | 3.284 | % |

| **ENSAYO CONTENIDO ORGANICO** | NORMA: ASTM C40 |
|---|---|
| ESCALA DE GARDNER | 0 |

| **MODULO DE FINURA** | 2.85 |
|---|---|

**b. RIPIO**

**MINA:** PIFO

| **DENSIDADES APARENTES** | NORMA: ASTM C29, INEN 858 | |
|---|---|---|
| DENSIDAD SUELTA: | 1.301 | gr/cm$^3$ |
| DENSIDAD COMPACTADA: | 1.460 | gr/cm$^3$ |

| **PESO ESPECIFICO Y ABSORCION** | NORMA: ASTM C128, INEN 856 | |
|---|---|---|
| PESO ESPECIFICO : | 2.582 | gr/cm$^3$ |
| PESO ESPECIFICO S.S.S. : | 2.631 | gr/cm$^3$ |
| ABSORCION DE AGUA : | 1.923 | % |

| **MODULO DE FINURA** | 7.23 |
|---|---|

**c. CEMENTO:** GU

| | | |
|---|---|---|
| DENSIDAD SUELTA | 1.040 | gr/cm3 |
| DENSIDAD COMPACTADA | 1.270 | gr/cm3 |
| DENSIDAD REAL | 3.040 | gr/cm3 |

Ing. Mercedes Villacís
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

Dosif-19-002-I

# ANEXO VI

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

INF. No. 19 - 0155 - I
**Hoja 03 de 05**

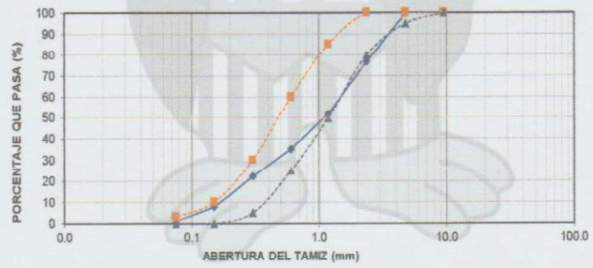
Quito, 27 de junio de 2019

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ; LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López; Luis Manobanda
**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía -Epn
**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK
**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***
**MUESTRA:** AGREGADO FINO
**PROCEDENCIA:** MINA PIFO
**NORMA:** ASTM C136M-14 - ASTM C33M-16

| TAMIZ No. | TAMAÑO ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (g) | PORCENTAJE RETENIDO (%) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 3/8" | 9.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| No. 4 | 4.750 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| No. 8 | 2.360 | 231.5 | 23.2 | 23.2 | 76.8 |
| No. 16 | 1.180 | 248.5 | 24.9 | 48.1 | 51.9 |
| No. 30 | 0.600 | 166.4 | 16.7 | 64.7 | 35.3 |
| No. 50 | 0.300 | 129.4 | 13.0 | 77.7 | 22.3 |
| No. 100 | 0.150 | 144.1 | 14.4 | 92.1 | 7.9 |
| No. 200 | 0.075 | 68.7 | 6.9 | 99.0 | 1.0 |
| BANDEJA | - | 10.0 | 1.0 | 100.0 | 0.0 |
| | TOTAL | 998.6 | MÓDULO FINURA | 3.1 | |

**Observación:** El muestreo, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente.

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO




ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

150 ANIVERSARIO | ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**Telf.:** 2976300
**Ext.:** 1609

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

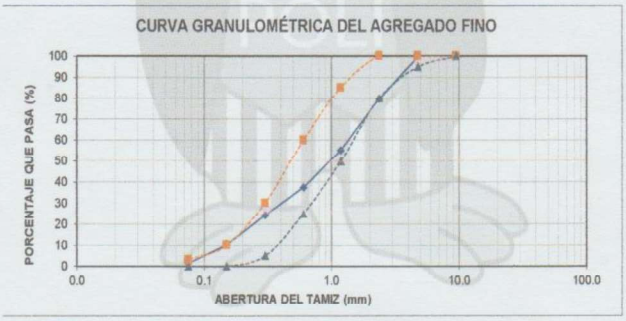
INF. No. 19 - 0155 - I
**Hoja 04 de 05**

Quito, 27 de junio de 2019

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ; LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López; Luis Manobanda
**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía -Epn
**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK
**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***
**MUESTRA:** AGREGADO FINO
**PROCEDENCIA:** MINA PIFO
**NORMA:** ASTM C136M-14 - ASTM C33M-16

| TAMIZ No. | TAMAÑO ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (g) | PORCENTAJE RETENIDO (%) | PORCENTAJE ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 3/8" | 9.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| No. 4 | 4.750 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| No. 8 | 2.360 | 202.5 | 20.3 | 20.3 | 79.8 |
| No. 16 | 1.180 | 245.0 | 24.5 | 44.8 | 55.3 |
| No. 30 | 0.600 | 176.7 | 17.7 | 62.4 | 37.6 |
| No. 50 | 0.300 | 133.0 | 13.3 | 75.7 | 24.3 |
| No. 100 | 0.150 | 139.0 | 13.9 | 89.6 | 10.4 |
| No. 200 | 0.075 | 89.4 | 8.9 | 98.6 | 1.4 |
| BANDEJA | - | 14.4 | 1.4 | 100.0 | 0.0 |
| | TOTAL | 1000.0 | MÓDULO FINURA | 2.9 | |

**Observación:** El muestreo, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente.




ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES
ING. CIVIL EPN

150 ANIVERSARIO
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**Telf.:** 2976300
**Ext.:** 1609

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO VII

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES

INF. No. 19 - 0155 - I
**Hoja 02 de 05**

Quito, 27 de junio del 2019

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ; LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López; Luis Manobanda
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK

**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***
**MUESTRA:** AGREGADO FINO
**NORMAS:** INDICADAS

| PESO ESPECIFICO Y ABSORCION (NTE INEN 857:2010) | | |
|---|---|---|
| **PRUEBA N°** | **unidad** | **1** |
| **Peso de la muestra en S.S.S** | gr | 600.00 |
| **Peso del Picnómetro + Muestra + Agua** | gr | 1029.80 |
| **Peso del Picnómetro + Agua** | gr | 656.40 |
| **Peso de la Muestra Seca** | gr | 588.00 |
| **Peso Especifico** | gr/cm3 | 2.59 |
| **Peso Especifico Aparente** | gr/cm3 | 2.74 |
| **Peso Especifico S.S.S** | gr/cm3 | 2.65 |
| **Absorción de Agua** | % | 2.04 |

| | | |
|---|---|---|
| **Peso especifico Promedio:** | 2.59 | $gr/cm^3$ |
| **Peso especifico Aparente Promedio:** | 2.74 | $gr/cm^3$ |
| **Peso especifico S.S.S Promedio:** | 2.65 | $gr/cm^3$ |
| **Absorción de Agua** | 2.04 | % |

| DENSIDAD APARENTES DE AGREGADOS (ASTM C29/C29M-17) | | | |
|---|---|---|---|
| **PRUEBA N°** | **unidad** | **1** | **2** |
| **Molde N°** | | A | B |
| **Diámetro Ø** | cm | 15.22 | 15.22 |
| **Altura h** | cm | 15.45 | 15.45 |
| **Peso Molde** | gr | 1899.85 | 1899.85 |
| **Volumen Molde** | $cm^3$ | 2810.91 | 2810.91 |
| **Peso Molde + Agregado Suelto** | gr | 6177.47 | 6156.70 |
| **Peso Molde + Agregado Compactado** | gr | 6809.70 | 6803.70 |
| **Peso Agregado Suelto** | gr | 4277.62 | 4256.85 |
| **Peso Agregado Compactado** | gr | 4909.85 | 4903.85 |
| **Densidad Aparente Suelta** | $gr/cm^3$ | 1.52 | 1.51 |
| **Densidad Aparente Compactado** | $gr/cm^3$ | 1.75 | 1.74 |

| | | |
|---|---|---|
| **Densidad Suelta Promedio:** | 1.52 | $gr/cm^3$ |
| **Densidad Compactada Promedio:** | 1.75 | $gr/cm^3$ |

**OBSERVACIONES:** El muestreo, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente.

150 ANIVERSARIO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

**Telf.:** 2976300
**Ext.:** 1609

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO VIII

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL RIPIO #8

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

INF. No.19 - 0156-I

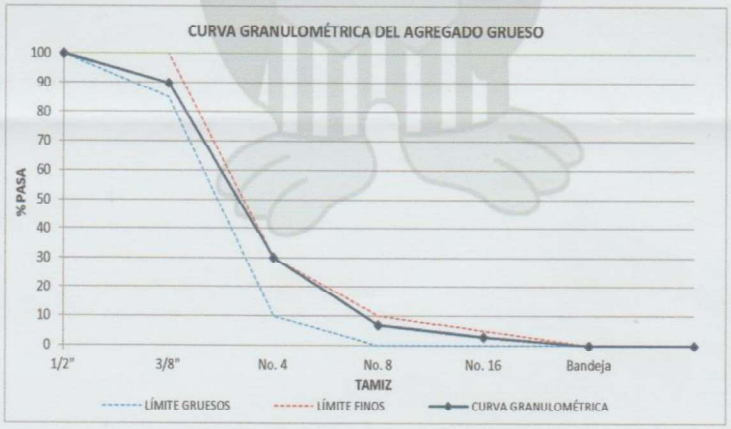
Quito, 24 de junio de 2019

Hoja 01 de 02

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ; JORGE LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López; Jorge Luis Manobanda
**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía (Epn)
**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR INOVA TK
**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***
**MUESTRA:** RIPIO #8 (1)
**MINA:** MINA DE PIFO
**NORMA:** ASTM C136/C136M-14

| PESO INICIAL (g) | | 1999.40 | Número de Tamaño | | 8 |
|---|---|---|---|---|---|
| TAMIZ No. | TAMAÑO ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (g) | PORCENTAJE RETENIDO (%) | PORCENTAJE RET. ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA (%) |
| 1/2" | 12.50 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 3/8" | 9.50 | 202.8 | 10.1 | 10.1 | 89.9 |
| No. 4 | 4.75 | 1195.4 | 59.8 | 69.9 | 30.1 |
| No. 8 | 2.36 | 463.4 | 23.2 | 93.1 | 6.9 |
| No. 16 | 1.18 | 79.4 | 4.0 | 97.1 | 2.9 |
| Bandeja | - | 58.4 | 2.9 | 100.0 | 0.0 |
| | TOTAL | 1999.4 | M. FINURA | 5.7 | |

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia de la muestra son responsabilidad del cliente.




150 ANIVERSARIO
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL - EPN

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS
LEMSUR

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

INF. No.19 - 0156-I

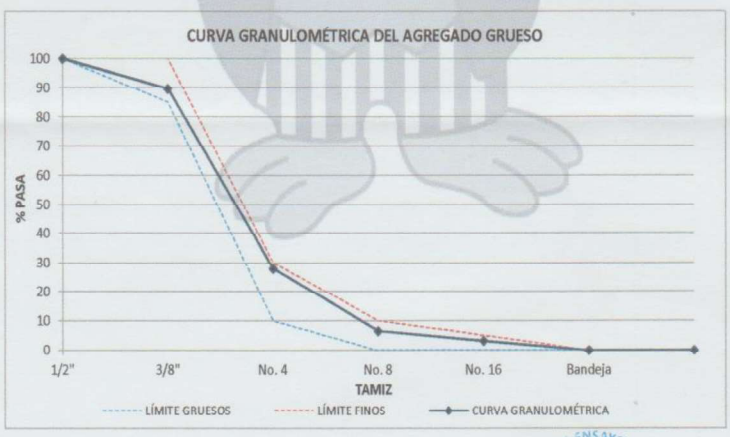
Quito, 24 de junio de 2019

Hoja 02 de 02

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ; JORGE LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López; Jorge Luis Manobanda
**Dirección:** Ladrón De Guevara E11-253 Y Andalucía (Epn)
**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR INOVA TK
**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***
**MUESTRA:** RIPIO #8 (2)
**MINA:** MINA DE PIFO
**NORMA:** ASTM C136/C136M-14

| PESO INICIAL (g) | | 1999.50 | Número de Tamaño | | 8 |
|---|---|---|---|---|---|
| TAMIZ No. | TAMAÑO ABERTURA (mm) | PESO RETENIDO (g) | PORCENTAJE RETENIDO (%) | PORCENTAJE RET. ACUMULADO (%) | PORCENTAJE QUE PASA (%) |
| 1/2" | 12.50 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 3/8" | 9.50 | 206.3 | 10.3 | 10.3 | 89.7 |
| No. 4 | 4.75 | 1234.4 | 61.7 | 72.1 | 27.9 |
| No. 8 | 2.36 | 427.7 | 21.4 | 93.4 | 6.6 |
| No. 16 | 1.18 | 65.9 | 3.3 | 96.7 | 3.3 |
| Bandeja | - | 65.2 | 3.3 | 100.0 | 0.0 |
| | TOTAL | 1999.5 | M. FINURA | 5.7 | |

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia de la muestra son responsabilidad del cliente.




ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL - EPN

150 ANIVERSARIO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

QR-G-19-002

# ANEXO IX

PROPIEDADES FÍSICAS DEL RIPIO #8

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES

INF. No. 19 - 0155 - I
**Hoja 01 de 05**

Quito, 27 de junio del 2019

**SOLICITA:** ELVIS LÓPEZ; LUIS MANOBANDA
**Atención:** Elvis López; Luis Manobanda
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK

**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***
**MUESTRA:** AGREGADO GRUESO
**NORMAS:** INDICADAS

| PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN (NTE INEN 857:2010) | | |
|---|---|---|
| **PRUEBA N°** | **unidad** | **1** |
| **Peso de la muestra en S.S.S** | gr | 33.70 |
| **Peso de la Canasta** | gr | 1739.50 |
| **Peso de la Canasta + Muestra** | gr | 1773.20 |
| **Peso de la Muestra Sumergida en Agua** | gr | 20.50 |
| **Peso de la Muestra Seca** | gr | 32.40 |
| **Peso Especifico** | gr/cm3 | 2.45 |
| **Peso Especifico Aparente** | gr/cm3 | 2.72 |
| **Peso Especifico S.S.S** | gr/cm3 | 2.55 |
| **Absorción de Agua** | % | 4.01 |

| | | |
|---|---|---|
| **Peso especifico Promedio:** | 2.45 | $gr/cm^3$ |
| **Peso especifico Aparente Promedio:** | 2.72 | $gr/cm^3$ |
| **Peso especifico S.S.S Promedio:** | 2.55 | $gr/cm^3$ |
| **Absorción de Agua** | 4.01 | % |

| DENSIDAD APARENTES DE AGREGADOS (ASTM C29/C29M-17) | | | |
|---|---|---|---|
| **PRUEBA N°** | **unidad** | **1** | **2** |
| **Molde N°** | | A | B |
| **Diámetro Ø** | cm | 20.13 | 20.13 |
| **Altura h** | cm | 29.13 | 29.13 |
| **Peso Molde** | gr | 5030.50 | 5030.50 |
| **Volumen Molde** | $cm^3$ | 9270.82 | 9270.82 |
| **Peso Molde + Agregado Suelto** | gr | 17300.00 | 17280.00 |
| **Peso Molde + Agregado Compactado** | gr | 18320.00 | 18240.00 |
| **Peso Agregado Suelto** | gr | 12269.50 | 12249.50 |
| **Peso Agregado Compactado** | gr | 13289.50 | 13209.50 |
| **Densidad Aparente Suelta** | $gr/cm^3$ | 1.32 | 1.32 |
| **Densidad Aparente Compactado** | $gr/cm^3$ | 1.43 | 1.42 |

| | | |
|---|---|---|
| **Densidad Suelta Promedio:** | 1.32 | $gr/cm^3$ |
| **Densidad Compactada Promedio:** | 1.43 | $gr/cm^3$ |

**OBSERVACIONES:** El muestreo, procedencia y ensayo son responsabilidad del cliente.

150 ANIVERSARIO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

**Telf.:** 2976300
**Ext.:** 1609

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO X

RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS DE GROUT

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## COMPRESIÓN DE PROBETAS DE GROUT

INF.- 19-0244-I
Hoja 01 de 01

Quito, 14 de octubre de 2019

**SOLICITA:** LÓPEZ ELVIS; MANOBANDA JORGE LUIS
**Atención:** López Elvis; Manobanda Jorge Luis
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía - EPN
**PROYECTO:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL DE BLOQUES DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK
**CONTRATISTA:** ***
**FISCALIZADOR:** ***
**FÁBRICA:** ***
**MUESTRA:** ***
**NORMAS:** ***

| Nº | FECHA FÁBRICA | DESCRIPCIÓN | FECHA ROTURA | EDAD (dias) | PESO ( g ) | CARGA ( T ) | P.ESPECIFICO (g/cm³) | ESFUERZO (kg / cm²) | ESFUERZO (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 25-jun-19 | G1 | 22-jul-19 | 27 | 3367.70 | 12.636 | 2.18 | 147.32 | 14.45 |
| 2 | 25-jun-19 | G2 | 22-jul-19 | 27 | 3382.00 | 12.309 | 2.18 | 142.62 | 13.99 |
| 3 | 25-jun-19 | G3 | 22-jul-19 | 27 | 3285.30 | 11.226 | 2.18 | 134.07 | 13.15 |
| 4 | 25-jun-19 | G4 | 22-jul-19 | 27 | 3415.60 | 12.409 | 2.23 | 146.15 | 14.33 |

**Observación:** La procedencia, datos de fabricación y dimensiones de las muestras de ensayo son responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN

150 ANIVERSARIO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

C.Cubica-019-005-I

**Telf.:** 2976300
**Ext.:** 1609

**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucia / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

# ANEXO XI

RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN CILINDRO DE MORTERO DE PEGA

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS

LEMSUR

## COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 19 - 0242-I
Hoja 01 de 01

Quito, 2 de octubre de 2019

**DATOS DEL CLIENTE**

**Razón social:** ELVIS LÓPEZ - JORGE LUIS MANOBANDA
**Dirección:** Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía - EPN
**Teléfono:** 0987840307

**DATOS DEL PROYECTO**

**Proyecto:** ESTUDIO EXPERIMENTAL Y ANALÍTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICA DE LA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL UTILIZANDO EL BLOQUE DE HORMIGÓN PROPUESTO POR LA EMPRESA INOVA TK.
**Contratante:** ELVIS LÓPEZ - JORGE LUIS MANOBANDA
**Contratista:** ***
**Fiscalizador:** ***
**ELEMENTO:** PROBETAS 1:5
**NORMA:** ASTM C39/C39M - 18

| No. | IDENTIFICACIÓN | FECHA FABRICACIÓN | FECHA ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (mm) | ÁREA ($mm^2$) | PESO ESPECÍFICO ($kg/m^3$) | CARGA MÁX. (kN) | RESISTENCIA (MPa) | RESISTENCIA ($kg/cm^2$) | TIPO DE FALLA* | DEFECTOS* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CM5-01 | 2019-07-25 | 2019-09-05 | 42 | 100,50 | 7933 | 2260 | 31,3 | 4,0 | 40 | TIPO 4 | A |
| 2 | CM5-02 | 2019-07-25 | 2019-09-05 | 42 | 101,25 | 8052 | 2260 | 32,3 | 4,0 | 41 | TIPO 2 | A |
| 3 | CM5-03 | 2019-07-25 | 2019-09-05 | 42 | 101,50 | 8091 | 2250 | 29,7 | 3,7 | 38 | TIPO 3 | A |
| 4 | CM5-04 | 2019-07-25 | 2019-09-05 | 42 | 101,00 | 8012 | 2230 | 29,9 | 3,7 | 38 | TIPO 2 | A |

TIPO DE FALLA

**DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS:** A = NINGUNO ; B = SEGREGADO ; C = POROSIDAD ; D = FISURAS PREEXISTENTES ; E = OTRA

**OBSERVACIONES:** Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad.
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados.
La información marcada con asterisco (*) corresponden a opiniones e interpretaciones realizadas por personal técnico autorizado por LEMSUR conforme a lo especificado en la norma ASTM C39.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES ING. CIVIL EPN