

Facultad de Tecnología de la Construcción

ESTABILIZACIÓN DE SUELO-CEMENTO Y SUELO-CAL, PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC), COMO UNIDAD DE MAMPOSTERÍA EN LA COMUNIDAD RURAL DE SABANA GRANDE DEL MUNICIPIO DE TOTOGALPA, DEPARTAMENTO DE MADRIZ.

Trabajo del Taller Monográfico para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Br. Eddy José
Cruz Benavidez
Carnet : 2015-0296I

Br. Milcia Mercedes
Ruiz Reyes
Carnet: 2016-0354I

Br. María Alejandra
Guillen Vallejos
Carnet: 2015-0167U

Tutor:

Msc. Silvia Lindo
O'connors

Abril de 2023
Managua, Nicaragua



Decanatura | FTC

DEC-FTC-REF-No.012

Managua, 31 de enero del 2023

Bachilleres

MARÍA ALEJANDRA GUILLEN VALLEJOS

EDDY JOSÉ CRUZ BENAVIDEZ

MILCIA MERCEDES RUIZ REYES

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el tema del **TALLER MONOGRAFICO**, titulado: **“ESTABILIZACIÓN DE SUELO-CEMENTO Y SUELO-CAL PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) COMO UNIDAD DE MAMPOSTERÍA EN LA COMUNIDAD DE SABANA GRANDE DEL MUNICIPIO DE TOTOGALPA, DEPARTAMENTO DE MADRIZ”**. Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, que el **Ing. Silvia Lindo O’Connors**. Sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **25 de mayo del 2023**.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,



M.Sc. Miguel Antonio Fonseca Chávez

Decano

CC: Protocolo

Tutor – Ing. Silvia Lindo O’Connors.

Archivo*Consecutivo



Teléfono: (505) 8787 2944



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso,
Managua, Nicaragua.



miguel.fonseca@ftc.uni.edu.ni
www.ftc.uni.edu.ni



Decanatura | FTC

REF. DECANATURA-FTC.003.2023.

Managua, Nicaragua.
11 de Enero del 2023.

MSc. Silvia Isabel Lindo O'connors.
Jefa del Departamento de Construcción.
Su despacho.

Estimada Master Lindo:

Sirva la presente para notificarle que esta instancia está aprobando a las Bachilleres **MARÍA ALEJANDRA GUILLEN VALLEJOS, EDDY JOSÉ CRUZ BENAVIDEZ y MILCIA MERCEDES RUIZ REYES**; el uso del Laboratorio de Suelos para los fines académicos expuestos en solicitud recibida el día 11 de Enero del año en curso.

Cabe mencionar que para hacer uso del mismo deberán coordinarse con su persona.

No omito manifestar que se les prestará las herramientas del laboratorio para realizar los estudios que requieran, sin embargo, ellos cubrirán lo relacionado con los materiales y reactivos a utilizar.

Sin más que agregar, les saludo,

Atentamente,



MSc. Miguel Antonio Fonseca Chávez
Decano F.T.C.

MAFC: tech.

CC: - Br. María Alejandra Guillen Vallejos / Interesada.
- Br. Eddy José Cruz Benavidez / Interesado.
- Br. Milcia Mercedes Ruiz Reyes / Interesado.
- Archivo Consecutivo.



Teléfono: (505) 8787 2944



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso.
Managua, Nicaragua.



miguel.fonseca@ftc.uni.edu.ni
www.ftc.uni.edu.ni

Carta de
aprobación
para defensa
de la Ing.

Índice general

I. Introducción	1
II. Objetivos.....	2
2.1 Objetivo General.....	2
2.2 Objetivo Específicos	2
III. Marco Teórico / Conceptual.....	3
3.1 Suelo	3
3.1.1 Propiedades del suelo.....	3
3.1.2. Método de clasificación de suelos	7
3.2 Estabilización de suelo	10
3.2.1 Estabilización mecánica	11
3.2.2 Estabilización física	11
3.2.3 Estabilización química.....	12
3.3 Bloques alternativos.....	18
3.3.1 Bloques de tierra comprimida (BTC).....	18
3.3.2 Proceso de fabricación	19
3.3.3 Equipos para la fabricacion del BTC.....	23
3.4 Normativa aplicada	24
3.4.1 Objeto y campo de aplicación.....	24
3.4.2 Resistencia a la compresión.....	25
3.4.3 Resistencia a ciclos de humectación/secado.....	26
IV. Diseño metodológico.....	27
4.1 Área de estudio.....	27
4.2 Tipo de investigación	27
4.3 Métodos generales y particulares para utilizar	28
4.3.1 Fase exploratoria.....	28

4.3.2	Fase técnica.....	28
4.3.3	Fase de interpretación y presentación de resultados.....	30
V.	Desarrollo del diseño metodológico.....	31
5.1	Fase exploratoria	31
5.2	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural.....	33
5.2.1	Análisis granulométrico	33
5.2.2	Límites de consistencia	40
5.2.3	Clasificación del suelo	45
5.2.4	Compactación de los suelos.....	51
5.2.5	Resistencia a la Compresión de probetas de suelo en estado natural	56
5.3	Estabilización de suelo natural con cal hidratada.....	59
5.3.1	Límites de consistencia	59
5.3.2	Resistencia a la compresión de probetas de suelo - Cal Hidratada	63
5.4	Estabilización de suelo natural con cemento GU	68
5.4.1	Límites de consistencia	68
5.4.2	Resistencia a la compresión de probetas de suelo – cemento GU	71
5.5	Determinación de la dosificación óptima	75
5.6	Proceso de fabricación de los BTC.....	79
5.6.1	Resistencia a la compresión de los BTC	86
5.6.2	Ensaye Resistencia a ciclos de humedad/secado	96
VI.	Conclusiones	103
VII.	Recomendaciones	104
VIII.	Bibliografía.....	105
IX.	Cronograma de ejecución	106
X.	Anexos	107

Índice de figuras

Figura 1 - Algunos ejemplos de la variedad de BTC.	18
Figura 2 Tamizado manual de la tierra y modelo de pulverizador mecánico.	21
Figura 3 Preparación de mezcla de suelo y cemento.....	21
Figura 4 Prensado del BTC	22
Figura 5 Curado y almacenamiento del BTC	22
Figura 6 Prensa Manuales Figura 7 Prensa Motorizadas	24
Figura 8 Ubicación del sitio de extracción del suelo en estudio.....	31
Figura 9 Excavación, extracción y almacenamiento de las muestras.....	33
Figura 10 Cuadro de Flujo para Clasificar Suelos de Grano Grueso.....	46
Figura 11 Diagrama de flujo para los nombres de los grupos de grava y arena del suelo Natural.	47
Figura 12 Clasificación según el LL y IP del suelo natural	48
Figura 13 Clasificación de suelo natural según AASTHO	50
Figura 14 Probetas de suelo natural	57
Figura 15 Probeta de suelo natural sometida a resistencia a la compresión	57
Figura 16 Preparación del suelo + el 10% de Cal Hidratada.	64
Figura 17 Mezcla de suelo + 10% Cal Hidratada y proceso de compactación. ...	64
Figura 18 Proceso de enrasamiento y desmote del collarín del molde.....	65
Figura 19 Probetas de suelo + 5, 10 y 15% Cal Hidratada.....	65
Figura 20 Probeta de suelo + Cal Hidratada sometida a resistencia a la compresión	66
Figura 21 Probetas de suelo + 5, 10 y 15% cemento GU.	72
Figura 22 Probeta de suelo + cemento GU sometida a resistencia a la compresión.	73
Figura 23 Proceso de fabricación Bloques de Tierra Comprimida (BTC).	79
Figura 24 Sondeo manual y cribado de material.	80
Figura 25 Mezcla en seco para fabricar BTC.	81
Figura 26 Mezcla húmeda para fabricar BTC.....	81
Figura 27 Maquina Cinva RAM	83
Figura 28 Dimensiones del BTC	84

Figura 29 Prensado de los BTC.....	84
Figura 30 Curado y secado de los BTC	85
Figura 31 Colocación de los BTC.	86
Figura 32 Plantilla de Neopreno utilizada en el ensayo de resistencia a la compresión.	87
Figura 33 BTC sometidos a ensaye de resistencia a la compresión.	87
Figura 34 Sección en plasta de los BTC	88
Figura 35 Sección de biseles	88
Figura 36 Sección efectiva donde se distribuye la carga.....	89
Figura 37 BTC fabricados y clasificados.	95
Figura 38 Condiciones del ensaye Resistencia a los ciclos de humedad/secado.	96
Figura 39 BTC tras un ciclo de humedad/secado.....	97
Figura 40 Equipo ocupado en el ensaye de ciclos de humedad/secado.	97
Figura 41 Procedimiento del ensaye de resistencia de ciclos de humedad/secado	98
Figura 42 BTC luego de 6 ciclos de humedad/secado	100
Figura 43 Ciclos de Humedad/Secado BTC cemento y cal	101
Figura 44 Primer ciclo de Humedad/Secado de BTC de suelo natural.	102
Figura 45 Cronograma de ensayos de resistencia a la compresión de probetas.	143
Figura 46 Cronograma de ensayos de resistencia a la compresión de los BTC.	145
Figura 47 Cronograma de ensayos de ciclos de humedad/secado de los BTC.	146

Índice de gráficas

Gráfica 1 Curva granulométrica	39
Gráfica 2 Curva de Fluidez del Suelo natural	43
Gráfica 3 Curva de compactación	55
Gráfica 4 Comportamiento de la resistencia a la compresión del suelo natural...	58
Gráfica 5 Curva de fluidez del suelo + 5% Cal hidratada	61
Gráfica 6 Comportamiento del IP según el suelo + 5,10 y 15% de Cal Hidratada	63
Gráfica 7 Comportamiento de la resistencia a la compresión del suelo-cal.....	67
Gráfica 8 Curva de fluidez del suelo + 5% Cemento GU.....	69
Gráfica 9 Comportamiento del IP según el suelo + 5,10 y 15% de Cemento GU.	71
Gráfica 10 Comportamiento de la resistencia a la compresión del suelo-cemento.	74
Gráfica 11 Resistencia a la compresión del Suelo + 15% Cal y Suelo + 15% cemento.....	75
Gráfica 12 Resistencia a la compresión del suelo natural, suelo-cal y suelo-cemento.....	76
Gráfica 13 Resistencia a la compresión de Suelo-Cal y Suelo-natural a los 7, 14 y 21 días.....	77
Gráfica 14 Peso de las probetas de suelo-cal 15%, suelo-cemento15% y suelo-natural	78
Gráfica 15 Resistencia a la compresión de los BTC de suelo natural.	91
Gráfica 16 Resistencia a la compresión de los BTC de suelo + 15% Cal Hidratada.	91
Gráfica 17 Resistencia a la compresión de los BTC de suelo + 15% cemento GU.	92
Gráfica 18 Resistencia a la compresión de los BTC de Suelo natural y Suelo + 15 Cal Hidratada.....	92
Gráfica 19 Comparativa de resistencia a la compresión de los BTC.	93
Gráfica 20 Curva de Fluidez del Suelo + 10 % Cal Hidratada	136
Gráfica 21 Curva de Fluidez del Suelo + 15 % Cal Hidratada.	138
Gráfica 22 Curva de Fluidez del Suelo + 10 % Cemento GU	139
Gráfica 23 Curva de Fluidez del Suelo + 10 % Cemento GU	141

Índice de tablas

Tabla 1 Tipos de partículas del suelo según su tamaño.....	4
Tabla 2 Especificaciones para el ensaye Proctor Estándar.....	7
Tabla 3 Carta de Clasificación de los suelos según SUCS	8
Tabla 4 Clasificación de los suelos según AASHTO	9
Tabla 5 Clase de resistencia normalizada a compresión	25
Tabla 6 Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural	29
Tabla 7 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los BTC	30
Tabla 8 Peso mínimo de la porción de suelo natural retenida en el tamiz No 10 a utilizar en el tamizado, según el tamaño máximo de las partículas.	34
Tabla 9 Resultado de análisis granulométrico del material grueso retenido en el tamiz N°10.....	36
Tabla 10 Peso mínimo de la porción de suelo que pasa el tamiz N° 10, según el tipo de suelo.	36
Tabla 11 Resultado del Análisis granulométrico del material fino que paso el tamiz N° 10	38
Tabla 12 Resultado de análisis granulométrico.....	40
Tabla 13 Límite líquido del suelo natural.....	42
Tabla 14 Límite plástico del Suelo Natural	44
Tabla 15 Índice de plasticidad del Suelo Natural	44
Tabla 16 Resultado de los límites de consistencia de Suelo-Natural	45
Tabla 17 Clasificación del suelo natural en estudio según SUCS	51
Tabla 18 Clasificación del suelo natural en estudio según AASHTO	51
Tabla 19 Resultados del Contenido de humedad	54
Tabla 20 Resultados del peso volumétrico húmedo (densidad húmeda)	54
Tabla 21 Resultados del peso volumétrico seco (densidad seca)	55
Tabla 22 Resultados del ensaye de resistencia a la compresión del suelo natural	58
Tabla 23 Límite líquido del Suelo + 5% Cal Hidratada	60
Tabla 24 Límite plástico del Suelo + 5% Cal Hidratada.....	61

Tabla 25 Índice de plasticidad del Suelo + 5% Cal Hidratada	62
Tabla 26 Resultado de los límites de consistencia del Suelo + 5,10 y 15% Cal Hidratada.	62
Tabla 27 Resistencia a la compresión simple del suelo + 5,10 y 15% Cal.	66
Tabla 28 Límite líquido del suelo + 5% Cemento GU.....	69
Tabla 29 Límite plástico del Suelo + 5% Cemento GU.....	70
Tabla 30 Índice de plasticidad del Suelo + 5% Cemento GU.	70
Tabla 31 Resultado de los límites de consistencia del Suelo + 5,10 y 15% Cemento GU.	70
Tabla 32 Resistencia a la Compresión Simple del suelo + 5,10 y 15% cemento GU.	73
Tabla 33 Cantidad material para la fabricación de BTC	82
Tabla 34 Resistencia a la compresión bloques de tierra comprimida (BTC).....	90
Tabla 35 Clasificación de los BTC según norma UNE 41410-2008.	94
Tabla 36 Resultados del ensaye de ciclos de Humedad/Secado de los BTC	99
Tabla 37 Límite líquido del Suelo + 10 % Cal Hidratada	136
Tabla 38 Límite plástico del Suelo + 10 % Cal Hidratada.....	137
Tabla 39 Índice de plasticidad del Suelo + 10 % Cal Hidratada	137
Tabla 40 Límite líquido del Suelo + 15 % Cal Hidratada	137
Tabla 41 Límite plástico del Suelo + 15 % Cal Hidratada.....	138
Tabla 42 Índice de plasticidad del Suelo + 15 % Cal Hidratada	138
Tabla 43 Límite líquido del Suelo + 10 % Cemento GU	139
Tabla 44 Limite plástico del Suelo + 10 % Cemento GU	140
Tabla 45 Índice de plasticidad del Suelo + 5 % Cemento GU	140
Tabla 46 Límite líquido del Suelo + 15 % Cemento GU	140
Tabla 47 Limite plástico del Suelo + 15 % Cemento GU.....	141
Tabla 48 Índice de plasticidad del Suelo + 15 % Cemento GU	141

Índice de Anexos

Anexo 1 Norma Española UNE 41410 – 2008 (Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques).	107
Anexo 2 Límites de consistencia del Suelo + 10% Cal Hidratada	136
Anexo 3 Límites de consistencia del Suelo + 15% Cal Hidratada	137
Anexo 4 Límites de consistencia del Suelo + 10 % Cemento GU	139
Anexo 5 Límites de consistencia del Suelo + 15 % Cemento GU	140
Anexo 6 Ficha técnica de Cemento tipo GU marca Holcim	142
Anexo 7 Cronograma de ensayos de compresión de probetas	143
Anexo 8 Prensa de accionamiento manual para fabricar bloques de tierra comprimida (BTC).....	144
Anexo 9 Cronograma de Ensayes de compresión de los BTC.....	145
Anexo 10 Cronograma de Ensayes Resistencia a los ciclos de humedad/secado (UNE 51410-2008). BTC.....	146

I. Introducción

El suelo es el material de construcción utilizado con mayor antigüedad por la humanidad, hoy en día las construcciones con tierra son poco usadas debido a la poca aceptación e investigación, por ende, se desperdician muchas de sus ventajas, siendo la principal la abundancia de materia prima, la localización, la disponibilidad, la reducción del consumo de energía (calorífica), el bajo costo, la resistencia y el impacto ambiental.

La implementación de este material como materia prima constructiva sería de gran importancia porque aportaría construcciones accesibles y sostenibles (ecológicamente), además de ofrecer una alternativa en costos más bajos a los métodos tradicionales para elementos estructurales.

En otros países se han venido mejorando las técnicas constructivas con tierra, realizando estabilizaciones e implementando el uso de maquinaria y herramientas mecánicas para la elaboración de bloques de tierra comprimida (BTC). Es por ello por lo que el presente trabajo de investigación está encaminado a proponer a la tierra como material constructivo implementando la combinación de estabilizantes (suelo-cemento y suelo-cal) en diferentes proporciones con la finalidad de elaborar un elemento de bajo costo y amigable con el medio ambiente conocidos como bloques de tierra comprimida (BTC).

Por esa razón partiremos eligiendo una muestra de suelo en estado natural procedente de una comunidad rural, la cual someteremos a pruebas para caracterizar las propiedades de este. Posteriormente se realizará un proceso de estabilización de suelos natural empleando como agente estabilizante cemento y cal para identificar los aportes que éstos pueden generar en las propiedades del suelo natural. Finalmente se fabricarán bloques de tierra comprimida (BTC) con suelo estabilizado y se determinarán las propiedades que estos bloques tengan para ser comparados con la normativa Norma UNE 41410 – 2008 e identificar si estos elementos (BTC) se consideran aptos para la construcción.

II. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Realizar la estabilización de suelo-cemento y suelo-cal, para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC), como unidad de mampostería en la comunidad rural de Sabana grande del municipio de Totogalpa, departamento de Madriz.

2.2 Objetivo Específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural del sitio en estudio.
- Proponer dosificaciones de suelo - cemento y suelo - cal para la estabilización del suelo natural.
- Seleccionar la dosificación óptima de suelo-cemento y suelo-cal para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC), de acuerdo con su comportamiento mecánico.
- Elaborar bloques de tierra comprimida (BTC) y someterlos a pruebas de compresión para evaluar sus propiedades mecánicas.

III. Marco Teórico / Conceptual

3.1 Suelo

El suelo es una capa delgada de la corteza terrestre, de material que proviene de la descomposición física-química de las piedras y de los desechos de las actividades de los seres vivos que se asientan en él. (Villalaz, 2004).

El suelo es definido (Bowles, 1982) como "un material natural formado por la acción de procesos geológicos y biológicos que se encuentra en la superficie terrestre y que ha sido modificado por el clima, la topografía y la actividad biológica". En ingeniería civil, el suelo se considera un material de construcción clave y se utiliza como soporte de estructuras, cimientos y pavimentos. El conocimiento del comportamiento mecánico del suelo y sus propiedades es fundamental para el diseño y construcción de cualquier proyecto de ingeniería civil.

3.1.1 Propiedades del suelo

El suelo es materia, por lo tanto, tiene propiedades. Todas las propiedades del suelo a pesar de ser las mismas, se pueden clasificar de dos maneras:

3.1.1.1 Propiedades físicas del suelo

Color: Los suelos oscuros indican mayor contenido de materia orgánica, suelos rojos contienen mucho hierro y manganeso, suelos amarillos contienen mucha arcilla y poca materia orgánica.

Textura: Se refiere a la cantidad (%) y calidad de partículas minerales que contiene el suelo. Existen varios tipos de partículas minerales en el suelo, pero las principales son 3: arena, limo y arcilla.

Tabla 1 Tipos de partículas del suelo según su tamaño

Partícula Mineral	Dimensión o Tamaño
Arena	2 mm a 0.05 mm
Limo	0.05 mm a 0.02 mm
Arcilla	De 0.02 mm a menos

Fuente: Jorge Marconi, 2011

Contenido de humedad: Es el porcentaje del peso de agua en una determinada masa de suelo con respecto al peso de las partículas sólidas. A su vez, es la cantidad de agua concentrada en un material, suelo, rocas, cerámica o madera, medida a través de análisis volumétrico o gravimétrico.

La importancia de la humedad de un suelo radica en que, junto a otras características, determina su comportamiento; por ejemplo, influye directamente en los cambios de volumen, estabilidad mecánica y cohesión, siendo particularmente influyente cuando se trata de suelos finos.

Límites de Atterbert: Pueden definirse como los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso.

El límite entre los estados sólido y semisólido se denomina límite de retracción, el límite entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico y el límite entre los estados plástico y semilíquido, límite líquido.

Así de este modo, un suelo de grano fino puede pasar de un estado de consistencia a otro en función del contenido en humedad.

Límite líquido: Se precisa como el contenido de humedad mencionado en porcentaje en relación con su peso seco de la muestra, con el que el suelo pasa del estado líquido al plástico. De acuerdo con esta definición, los suelos plásticos poseen una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, pero definidos en el límite del líquido, y de acuerdo con Atterberg es de 25 g / cm^2 . La cohesión de un suelo en el límite neto es prácticamente cero. El límite líquido es la frontera entre el estado líquido y plástico.

Límite plástico: Se define como el contenido de agua que posee un suelo que se expresa en porcentajes, el cual se determina mediante la formación de pequeños cilindros con la palma de la mano sobre una superficie lisa de unos 3 mm de diámetro y 25-30 mm de longitud. Se denota límite plástico (LP), cuando el suelo natural pasa de una fase plástica a una fase semisólida y este se logra romper. El límite plástico es la frontera entre el estado plástico y semisólido.

Índice de plasticidad (IP)

Es el rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se compara plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Análisis granulométrico: La intuición de la composición granulométrica del suelo grueso sirve para distinguir la influencia que puede tener sobre la densidad del material comprimido o compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad en porcentaje de los desemejantes tamaños de las partículas que componen la tierra.

Es un ensayo que se realiza con la finalidad de estipular la proporción de los desemejantes elementos que lo componen, que son divididos de acuerdo con su volumen.

3.1.1.2 Propiedades mecánicas

Compactación: La compactación se describe como la densificación del suelo por la remoción del aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso seco específico. Cuando el agua se añade al suelo durante la compactación, actúa como un agente suavizante para las partículas del suelo, lo que las hace deslizarse juntas y se desplazan a una posición de empaque más densa. Este procedimiento se realiza bajo el Método Proctor Estándar.

Método Proctor Estándar: Es una prueba con la que se puede encontrar el grado de humedad y ver la compactación del suelo a través del volumen de peso contenido en un molde. Esto se denomina densidad relativa en volumen bajo una humedad requerida, y para ellos se realiza un proceso que consiste en una variedad de golpes que varían en 3 capas y están relacionadas con las herramientas utilizadas para encontrar la densidad.

El ensaye Proctor estándar se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Un suelo con un contenido de humedad seleccionado es colocado en tres capas dentro de un molde cilíndrico de dimensiones conocidas, cada capa es compactada por medio de la caída de un pisón de 2.5 kg (5.5 lb) con una altura de caída de 12", aplicando 25 golpes por capa, y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 12400 lb-pie/pie³ (600 KN-m/m³), luego se determina su peso unitario seco. El procedimiento se repitió para cuatro contenidos de agua diferentes para lograr establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo.

Tabla 2 Especificaciones para el ensaye Proctor Estándar

Concepto	Método
	A
Diámetro del molde (cm)	10.16
Volumen del molde (cm ³)	943.3
Peso del martillo (kg)	2.5
Altura de caída del martillo (cm)	30.48
Numero de golpes del pisón por cada capa	25
Numero de capas de compactación	3
Energía de compactación (Kg-cm/cm ³)	6.06
Peso de muestra (Kg)	3.0

Fuente: Basadas en la norma ASTM D 698-91 .

Resistencia a la Compresión: Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa y cierta frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

3.1.2. Método de clasificación de suelos

Los métodos que frecuentemente se utiliza para la clasificación de los suelos son: El sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS) y el Sistema de Clasificación American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

3.1.2.1 Método de Sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS)

El método clasifica los suelos en dos amplias categorías:

- a. Suelos de grano grueso que son de naturaleza tipo grava y arenosa con menos del 50% pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G o S. G (grava o suelo gravoso) y S (arena o suelo arenoso). (Das, 2013).

- b. Los suelos de grano fino con 50% o más pasando por la malla No. 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M, que significa limo inorgánico, C para arcilla inorgánica u/o para limos y arcillas orgánicos. El símbolo Pt se usa para turbas, lodos y otros suelos altamente orgánicos. Otros símbolos también utilizados son: W bien graduado, P mal graduado, L baja plasticidad ($LL < 50$) y H alta plasticidad ($LL > 50$)". (Das, 2013).

Otros símbolos que también se utilizan para la clasificación son:

- W: Bien clasificado
- P: Mal clasificado
- L: Baja plasticidad (límite líquido menor al 50)
- H: Alta plasticidad (límite líquido mayor al 50)

Tabla 3 Carta de Clasificación de los suelos según SUCS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)						
Gruesos (< 50 pasa 0.08 mm)						
Tipo de suelo	Símbolo	% pasa 5 mm	% pasa 0.08 mm	CU	CC	IP
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 6	<1 ó > 3	
	GM		> 12			<0.73(wl-20) ó <4
	GC					>0.73(wl-20) ó >7
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	<1 ó > 3	
	SM		> 12			<0.73(wl-20) ó <4
	SC					>0.73(wl-20) ó >7
Entre 5 y 12 % usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC. Respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.08 mm.						
Si IP ≈ 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (wl-20), usar símbolos dobles: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificaciones menos plásticas Ej: GW-GM en vez de GW-GC						
Cu = (D60) / (D10)			Cc = (D60 ²) / (D60 * D10)			

Fuente: (ASTM D2487 - 11, 2011)

3.1.2.2 Clasificación mediante el método AASHTO

De acuerdo con este sistema de clasificación, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7.

Donde los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares y el 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200.

Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla.

Tabla 4 Clasificación de los suelos según AASHTO

CLASIFICACION GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) hasta el 35 %							SUELOS ARCILLOSO - LIMOSO Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) más del 35 %			
CLASIFICACION POR GRUPOS	A – 1		A – 3	A – 2				A – 4	A – 5	A – 6	A – 7
	A – 1 – a	A – 1 – b		A – 2 – 4	A – 2 – 5	A – 2 – 6	A – 2 – 7				A – 7 – 5 A – 7 – 6
Tamiz IRAM de 2 mm.N° 10	Máx 50										
Tamiz IRAM de 425 micrómetros N° 40	Máx 30	Máx 50	Min 51								
Tamiz IRAM de 75 micrómetros N° 200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Min 35	Min 35	Min 35	Min 35
Características de la fracción que pasa por tamiz IRAM 425 micrómetros N° 40											
Límite Líquido ⁽¹⁾ (%)	-	-	-	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41
Índice de Plasticidad I _p (%)	Máximo 6		No plástico	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11
Índice de Grupo IG	0	0	0	0	0	Máx 4	Máx 4	Máx 8	Máx 12	Máx 16	Máx 20
CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE TIPOS MAS COMUNES	Fragmentos de rocas, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas				Suelos limosas		Suelos arcillosos	
COMPORTAMIENTO GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno						Regular a pobre				

Fuente: (AASHTO, 2010)

3.2 Estabilización de suelo

La estabilización del suelo es un término general que designa a cualquier método físico, químico, mecánico, biológico o combinado para modificar un suelo natural con el fin de cumplir un objetivo. La mejora de las propiedades de ingeniería incluye el aumento de la capacidad de soportar peso, la resistencia a la tracción y el rendimiento general de los subsuelos, arenas y materiales de desecho in situ.

Generalmente se requiere cuando el suelo bajo los cimientos para la construcción no es adecuado para soportar la carga estructural. Los métodos de estabilización del suelo son una medida correctiva que reduce la permeabilidad del suelo y la compresibilidad de la masa del suelo en las estructuras de tierra y aumenta la resistencia al corte y a la flexión, lo que ayuda a reducir el asentamiento global o diferencial de las estructuras. La estabilización del suelo es un proceso muy común en casi todos los proyectos de carreteras y obras de construcción.

Las técnicas de estabilización de suelos pueden clasificarse en dos grupos, la estabilización mecánica y la estabilización química. En la estabilización mecánica, se cambia la graduación del suelo mezclándolo con otros tipos de suelos de diferentes grados. De este modo, se consigue una masa de suelo compactada. Por otro lado, la estabilización química está asociada a la modificación de las propiedades del suelo mediante la adición de materiales químicamente activos.

En la estabilización de suelos, es muy importante conocer las propiedades de los materiales que intervienen en la mezcla y el resultado tras la misma. Además, es importante averiguar cómo se comportará el material después de la estabilización. Al mismo tiempo, es necesario evaluar los efectos del proceso sobre las estructuras cercanas y las condiciones circundantes.

En consecuencia, se pueden tomar decisiones sobre la selección de materiales y las dosis correspondientes. Además de la selección de los materiales y las dosis, existen muchos otros factores que rigen la eficacia de este método, por ejemplo, la mezcla y el extendido, la selección del rodillo, el espesor de la capa de compactación, el esfuerzo de compactación, la secuencia de operación, el curado, las condiciones ambientales y climáticas, etc.

3.2.1 Estabilización mecánica

La estabilización mecánica consiste en compactar el suelo de forma estática o dinámica para aumentar su densidad, su resistencia mecánica, disminuir su porosidad y su permeabilidad. Puede incluir también previamente la mezcla de suelos de diferente gradación para obtener la especificación apropiada. Los objetivos ingenieriles de dicho procedimiento son principalmente:

- a) Aumentar su capacidad portante.
- b) Disminuir el asentamiento de las estructuras.
- c) Controlar cambios volumétricos indeseables.
- d) Reducir la permeabilidad al agua.
- e) Aumentar la estabilidad de los taludes.

La compactación de un suelo depende de la energía de compactación, por el tipo y gradación del suelo, y el grado de compactación depende del contenido de humedad y el peso unitario seco. El grado de compactación es entonces medido en términos del peso unitario del suelo seco.

3.2.2 Estabilización física

La estabilización física consiste en modificar las propiedades de los suelos mediante la intervención en algunas de sus propiedades para aportarle características estructurales nuevas.

Entre los procedimientos físicos se encuentran el uso de los materiales denominados geosintéticos, tales como los geotextiles, fabricados generalmente de fibras sintéticas como el poliéster o polipropileno los cuales son:

- Las geomallas; estructuras tridimensionales, pero con la característica de ser mono o bi-orientadas y fabricadas en polietileno de alta densidad.
- Las geomembranas, láminas poliméricas impermeables fabricadas en cloruro de polivinilo (PVC), o polietileno de alta o baja densidad (PEAD/PEBD).
- El geo compuesto, diseñado específicamente para estabilización de suelos donde se requiere tanto refuerzo como separación de una base granular y un subsuelo muy fino, este se produce uniendo un geotextil no tejido a una geomalla, lo que permite una gran interacción con el suelo reforzado.
- Las geos celdas, que son sistemas tridimensionales de confinamiento celular fabricadas en paneles de polietileno o polipropileno, muy resistentes para el confinamiento de cargas.

3.2.3 Estabilización química

La estabilización química se puede utilizar en todos los tipos de suelos para el mejoramiento de sus propiedades geotécnicas, cambiando las propiedades fisicoquímicas iniciales del suelo nativo con el objetivo de mitigar algunos problemas tales como la inestabilidad volumétrica o incrementar algunas de sus propiedades como la resistencia y durabilidad de los suelos tratados.

Este tipo de estabilización incluye la utilización de una amplia gama de materiales, entre los cuales el cemento y la cal han sido los más convencionales; sin embargo, otros productos como sales (cloruro de sodio, cloruro de calcio) y residuos o subproductos industriales (escoria de alto horno, cenizas volantes) también han sido considerados en la estabilización de suelos para construcción de carreteras.

Adicionalmente, la combinación de varias materias primas adecuadamente seleccionadas puede permitir la sinergia de sus propiedades brindando un mejor comportamiento frente a la estabilización de un suelo.

3.2.3.1 Estabilización con cal

La cal es uno de los materiales más utilizados en la estabilización de suelos. Se puede usar en diferentes formas dependiendo del tipo de aplicación, cal viva, como desecante de suelos muy húmedos; cal hidratada y lechada de cal para estabilización de suelos arcillosos de grano fino. Al aplicar la cal a suelos arcillosos inmediatamente sus partículas pierden poder de cohesión transformando al suelo plástico en un material más granular.

Los registros de la utilización de cal datan de épocas tan antiguas como la civilización mesopotámica pasando por el antiguo Egipto, imperio Romano y la antigua Grecia.

En la era moderna, la cal fue utilizada como agente estabilizador aproximadamente desde los años de 1924; su uso se generalizó a partir de la segunda guerra mundial como químico estabilizador de suelos para construcción de carreteras. Al aplicar cal a los suelos, el intercambio catiónico es el primer mecanismo que modifica las propiedades ingenieriles del suelo tratado. Debido a la floculación de sus partículas, se promueve la fijación de los cationes Ca^{++} en la estructura del suelo y esto da lugar a la generación de reacciones puzolánicas responsables de estabilizar al suelo modificando sus propiedades iniciales.

Al romper las partículas de arcilla, se liberan la sílice y la alúmina, que reaccionan con el calcio de la cal para formar silicatos cálcicos hidratados (C-S-H) y aluminatos cálcicos hidratados (C-A-H), que son cementantes análogos a los formados en las reacciones de hidratación del cemento Portland.

Estos componentes hidratados forman una matriz con menor índice de plasticidad, la cual contribuye a la resistencia de las capas de suelo estabilizadas con cal y a su menor permeabilidad. La capa de suelo se hace más fácil de trabajar y de compactar.

En este tipo de estabilización puede considerarse la cal como un activante alcalino apto para generar un suelo resistente, mecánico y químico a partir de su acción con el suelo de carácter arcilloso.

3.2.3.2 Estabilización con cemento

El cemento Portland (OPC) es el aglutinante más utilizado a nivel mundial porque posee la capacidad de estabilizar una amplia variedad de suelos, aunque es mucho más efectivo en suelos arenosos y en suelos arcillosos con índices de plasticidad entre mediano y bajo.

Al material generado por la mezcla de suelo con diferentes porcentajes de OPC se le da el nombre de suelo-cemento. Este material se usa en muchos tipos de aplicaciones de infraestructura civil como bases o subbases para construir carreteras, terraplenes, diques y estabilización de cimentaciones, entre otros.

Se ha implementado desde hace más de 80 años, y su desarrollo se dio simultáneamente en Estados Unidos e Inglaterra, en donde en el año 1917 aplicaron exitosamente mezclas de suelo arcilloso con cemento para crear caminos; pese a ello, no fue muy utilizado en esa época por el tipo de tráfico.

A partir de 1935 la Portland Cement Association (PCA) desarrolló una serie de investigaciones que derivaron en los primeros ensayos de humedad-densidad, humedecimiento-secado y hielo-deshielo de diversas mezclas de suelo-cemento y a partir de este trabajo a mediados de 1940 surgen las primeras normas ASTM y AASHTO para este tipo de material.

Los mecanismos por los cuales el suelo es estabilizado por el cemento son la hidratación, el intercambio catiónico, floculación y aglomeración, carbonatación y reacciones puzolánicas. De estos, el más importante es la hidratación del cemento ya que se generan compuestos de silicato cálcico hidratado (C-S-H) que cementan las partículas del suelo generando estabilidad frente a los cambios de humedad en el ambiente.

El intercambio catiónico es el segundo mecanismo en importancia cuando se estabilizan suelos cohesivos, los cationes Ca^{++} del cemento llenan los vacíos en la estructura del suelo o se intercambian por algunos cationes del suelo, reduciendo la carga neta superficial haciendo que se genere una menor atracción de moléculas de agua por parte del material.

La floculación puede cambiar la textura plástica de algunos suelos a una textura fina y granular, mientras que la carbonatación contribuye a la resistencia del material estabilizado y las reacciones puzolánicas contribuyen a la generación de material cementante adicional (C-S-H) conforme pasa el tiempo, incrementando la estabilización por cementación de las partículas.

3.2.3.3 Factores que afectan la mezcla de suelo cemento

El tipo de suelo: Tiene influencia principalmente por su composición química y su granulometría. Los suelos que pueden ser tratados con cemento con fines viales para obtener una estabilización económica se obtienen cuando el suelo no contiene partículas mayores de 7.5 cm o de un tercio del espesor de la capa tratada. Algunas arcillas muy plásticas, han sido exitosamente tratadas con cemento después de un tratamiento previo con 2, 3 y 6% del mismo cemento o de cal hidratada, con el que se logra dar al suelo mayor trabajabilidad y abatir su plasticidad. El tiempo de curado para este tratamiento previo no suele exceder de 2 a 3 días.

La cantidad de cemento: La dosificación de las mezclas de suelo-cemento viene a ser a fin de cuentas la cuestión fundamental pues el cemento es el elemento más costoso, por lo que fijar su proporción ayuda a determinar la factibilidad técnica de la estabilización, esto ligado a las propiedades que se logren mediante la mezcla, dependiendo también la cantidad de cemento que se emplee.

El diseño de la mezcla se hace en el laboratorio, siendo los ensayos que más se utilizan para ello:

- El de durabilidad, llamado también de humedecimiento y secado.
- El de compresión simple sobre probetas compactadas bajo condiciones especificadas.

Con relación al primero, las especificaciones fijan los valores aceptables en función del tipo de suelo que se estabilice, mientras que, con respecto al segundo, fueron los ingleses quienes establecieron el ensayo de compresión para el diseño, esto luego de encontrar que para su medio ambiente requerían una resistencia a la compresión de 17.5 k/cm² sobre probetas curadas a 15°C durante 7 días, esto equivalía a los resultados del ensayo de humedecimiento y secado.

De otra parte, no debe olvidarse que la resistencia de una mezcla de suelo-cemento se ve favorecida por el aumento de temperatura, lo que es benéfico en áreas tropicales, donde las temperaturas de curado suelen ser superiores a las recomendadas por las normas utilizadas por países ubicados en zonas templadas. Es importante tener en cuenta que al fabricar mezclas de suelo-cemento se llegan a obtener altas resistencias a la compresión (70 kg/cm² o más), las cuales no son convenientes por su susceptibilidad al agrietamiento.

La cantidad de agua que se agrega a la mezcla: La incidencia de la humedad en la calidad de la mezcla tiene su mayor importancia durante la compactación. Una buena compactación, debe obtenerse para una alta densidad seca y ella sólo se obtiene cuando el suelo tiene la humedad óptima.

En los diseños de suelo cemento se usa generalmente como ensayo de control el Proctor Estándar en lugar del Modificado, por cuanto aquel tiene una humedad óptima mayor, que proporciona la cantidad de agua adecuada para la correcta hidratación del cemento. Además, como la densidad máxima del ensayo Proctor Estándar es menor, se evita el riesgo de obtener compactaciones muy elevadas y resistencias demasiado altas que, resultan también inconvenientes.

La compactación de la mezcla: Una mezcla satisfactoria de suelo cemento sólo puede obtenerse si se compacta adecuadamente. Las demoras entre las mezclas y la compactación producen también una disminución de la densidad que puede alcanzarse al compactar la mezcla y, por lo tanto, también de su resistencia.

Por este motivo, en casi todos los países se prohíbe que pasen más de 2 horas entre la mezcla y la compactación. Debe tenerse presente que las mezclas de laboratorio presentan una resistencia mucho mayor que las que se elaboran en la obra.

Curado de la mezcla compactada: La resistencia a la compresión de la mezcla de suelo-cemento, también se ve influida por su tiempo de curado. Experiencias de laboratorio indican que ésta aumenta cuando crece el tiempo de curado a que se somete la mezcla después de ser compactada.

3.3 Bloques alternativos

3.3.1 Bloques de tierra comprimida (BTC)

El bloque de tierra comprimida, generalmente llamado BTC, es el elemento de la albañilería hecho con tierra (suelo) compactada en el moldeo por compresión o prensado, seguido por el desmolde inmediato.

Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, puede utilizarse la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de proporciones de diferentes tierras y la estabilización química, en que se agrega un aditivo químico a la tierra, generalmente aglomerante tipo cemento o cal. (Faria, 2011)

Es posible fabricar BTC de diferentes formas y tamaños, siendo usual el BTC macizo y el BTC con huecos, ambos con y sin encajes (figura 1).

Figura 1 - Algunos ejemplos de la variedad de BTC.



a) Macizo con superficie lisa; b) Macizo con encajes; c) Con huecos; d) Con huecos y encajes.

Fuente: (Faria, 2011)

El BTC puede ser usado en cualquier tipo de construcción substituyendo los bloques cerámicos o de concreto convencionales, ya sea en albañilería para cerramiento o mampostería portante, siempre que se observen las capacidades resistentes establecidas en el proyecto.

Las paredes pueden estar tanto con el mampuesto a la vista (cuando estén protegidas de la lluvia), como cubiertas, pudiendo recibir revestimiento de mortero, diversos tipos de pintura o revestimiento cerámico. Además, presenta otras ventajas, tales como (Faria, 2011):

- Fácil de fabricar.
- Mantiene la regularidad de las dimensiones.
- Posibilidad de control eficiente de la resistencia a la compresión y otros parámetros.

3.3.2 Proceso de fabricación

3.3.2.1 Materiales

La bibliografía (NEVES, y otros, 2010) recomienda el uso de tierra con un porcentaje de arena superior al 50% para la fabricación del BTC. La arena es responsable de la estructuración interna (resistencia) del bloque, mientras que la arcilla responde a la aglutinación o cohesión de las partículas de la tierra. Sin embargo, la arcilla también es responsable del efecto de retracción del material durante el secado y la aparición de grietas en los bloques. Por eso, a veces es necesario adecuar la tierra disponible o, como se dice, estabilizar la tierra para la producción del BTC. La estabilización también se hace en el sentido de mejorar la resistencia y la impermeabilización del bloque. (Faria, 2011)

La primera opción es lograr la estabilización granular de la tierra mediante la adición de otros tipos de suelo o arena para mejorar su granulometría y plasticidad. Para reducir la sensibilidad al agua, las altas tasas de contracción y expansión, y la baja resistencia a la abrasión del BTC, se debe realizar la estabilización química con la adición de aglomerantes como cemento, cal o asfalto, entre otros. Sin embargo, la elección de un agente de estabilización dependerá del tipo de tierra y de las condiciones técnicas y financieras para adquirir los aditivos químicos.

- En el caso de utilizar cemento, cal o yeso, el contenido total de estos debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco del BTC.
- Deben rechazarse la tierra que contengan, materia orgánica en cantidad mayor o igual del 2%. ((AENOR), 2008)

Las principales características de la tierra se definen por:

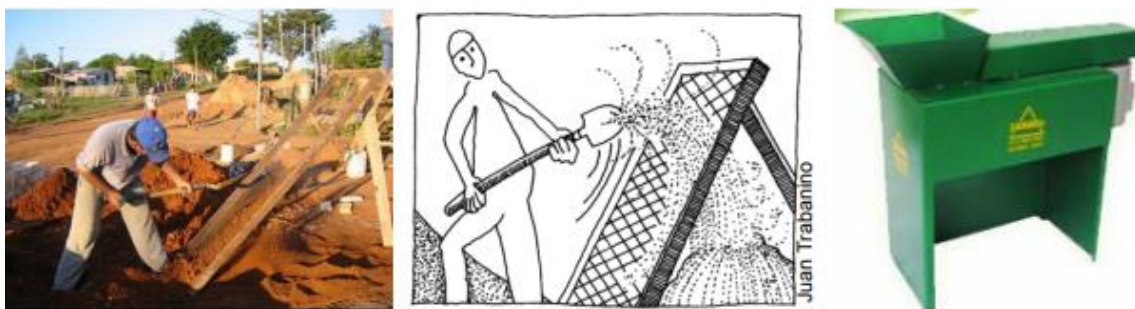
- Granulometría
- Plasticidad
- El tipo de arcilla (No se admitirán aquellas tierras con un contenido en acillas menor al 10%) ((AENOR), 2008)

3.3.2.2 Fabricación del BTC

Para ejemplificar, se anotan las etapas del proceso de fabricación del BTC con cemento, que es semejante al proceso de fabricación con adición de otros aglomerantes.

Preparación de la tierra: Consiste en pulverizar y tamizar, si fuera necesario, la tierra seca. Se recomienda usar tamiz con apertura de la red del orden de 5 mm, o un pulverizador mecánico, como se muestra en la figura 2.

Figura 2 Tamizado manual de la tierra y modelo de pulverizador mecánico.



Fuente: (Faria, 2011)

Preparación de la mezcla (con cemento): Se añade el cemento a la tierra ya preparada, en la proporción previamente establecida. Esta proporción necesita un estudio de dosificación para obtener BTC con la resistencia a la compresión esperada con el mínimo consumo de cemento.

Se mezclan los materiales secos hasta obtener una coloración uniforme; se agrega el agua poco a poco hasta que llegue a la humedad adecuada para su prensado (figura 3).

Figura 3 Preparación de mezcla de suelo y cemento



Fuente: (Faria, 2011)

Prensado del BTC: Se pone la mezcla en el equipo y se procede al prensado, luego se retira el BTC del molde; se acomoda el BTC en una superficie plana y lisa, en un área protegida del sol, del viento y de la lluvia (figuras 4).

Figura 4 Prensado del BTC



Fuente: (GRACOMAQ)

Curado y almacenamiento: Después de 6 horas de moldeados y durante los 7 primeros días, los bloques deben ser mantenidos húmedos por medio de regados sucesivos, para continuar el proceso de hidratación del cemento, lo que traerá una mayor resistencia al material. Esta etapa corresponde al proceso de cura. Los BTC pueden ser acomodados en pilas de hasta 1,5 metros de altura y cubiertos con lona plástica para mantener la humedad (figura 5).

Figura 5 Curado y almacenamiento del BTC



Fuente: (GRACOMAQ)

3.3.3 Equipos para la fabricacion del BTC

El BTC, en general, es moldeado por prensado, con moldes cuyo formato posibilita producir piezas de formas y dimensiones variadas. La maquinaria disponible para su fabricación es diversa y puede atender a las necesidades de producción para las edificaciones de diferentes envergaduras. Se puede utilizar desde un sencillo equipamiento de prensado, hasta complejas unidades de producción industrial, que engloban pulverizador de suelo, tamizador, mezcladora, dosificador, prensa y otros accesorios. El dimensionamiento de la maquinaria está relacionado con la medida, la productividad y el costo del emprendimiento. (Faria, 2011)

Las prensas pueden ser operadas manualmente (figura 6) o con auxilio de un motor (figura 7), que acciona un sistema de prensado, mecánico o hidráulico.

Las prensas manuales requieren bajo capital para su compra y mantenimiento, son más livianas, pequeñas, fáciles de usar y no consumen energía eléctrica.

La baja tasa de compactación, principalmente de la prensa manual mecánica, exige que la selección y la preparación de la tierra sean muy cuidadosos, a fin de que los BTC presenten poca dispersión en la resistencia a la compresión.

Las prensas que poseen pistón compactador en un solo sentido deben ser utilizadas básicamente para la producción de BTC con altura máxima de 7 cm. Por encima de este valor y hasta la altura de 20cm, es necesario usar prensas con doble sentido de compactación; este límite no se debe a la energía de compactación del equipo, sino a la propiedad de compactación de la tierra. (Faria, 2011)

Figura 6 Prensa Manuales



Fuente: (Faria, 2011)

Figura 7 Prensa Motorizadas



Fuente: (Faria, 2011)

3.4 Normativa aplicada

La norma utilizada para la fabricación y evaluación de la conformidad de bloques de tierra comprimida (BTC) es la norma española UNE 41410 – 2008, con título “Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques, definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.”

3.4.1 Objeto y campo de aplicación

Esta norma tiene por objeto definir los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas de albañilería, por ejemplo, fachadas vistas y revestidas, estructuras de carga y no portantes, muros y particiones inferiores.

Fija las prestaciones que se deben cumplir, los bloques y los ensayos propios para determinarlas, así como el marcado que permite identificarlas.

Se aplica a los bloques de tierra comprimida (BTC) conforme a la definición 3.1.2, que están destinados a fábricas de albañilería, sean vistas o no. Esta norma no contempla los bloques de tierra comprimida obtenidos por extrusión.

Esta norma nos permitirá lograr definir las especificaciones generales de los bloques de tierra comprimida (BTC), para su fabricación. Asimismo, nos permitirá definir las características de los contribuyentes para que el bloque logre cumplir con los ensayos de resistencia a compresión y la resistencia a ciclos de humectación/secado.

3.4.2 Resistencia a la compresión

La resistencia normalizada a compresión del (BTC) debe de estar en N/mm^2 , el valor declarado debe corresponder a la resistencia normalizada a compresión (fractil del 5%), f_c , en el momento del suministro, y debe ser como mínimo el valor indicado en la tabla 5.

Además, ningún resultado debe ser inferior a 0,8 veces el valor de esta resistencia.

Tabla 5 Clase de resistencia normalizada a compresión

Bloques	BTC 1	BTC 3	BTC 5
Resistencia normalizada , f_c , (fractil 5%), en N/mm^2	1.3	3	5

Fuente: UNE-41410-2008

Para la determinación de la resistencia normalizada a compresión, se debe seguir el procedimiento descrito en el apartado 8.2 de esta norma (ver norma en anexo 1).

La declaración del fabricante debe indicar la orientación de los BTC que han sido ensayados, el método de apoyo del bloque, y el método de acondicionamiento y de preparación de la superficie.

3.4.3 Resistencia a ciclos de humectación/secado

Los BTC utilizados en fábricas sometidas a exposición severa (Véase el anexo A) se deben ensayar de acuerdo con el apartado 8.3 de esta norma (ver norma en anexo 1), previamente al ensayo de erosión, debiéndose verificar que, tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones siguientes:

- Modelo de grietas aleatorio.
- Modelo de grietas en estrella.
- Hinchamiento local.
- Picado local en al menos 5 zonas.
- Perdida general o local de capas de suelo.
- Penetración de agua en más del 70% de la anchura del BTC (visualmente por el exterior).
- Perdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro.
- Eflorescencias en la superficie.

IV. Diseño metodológico

4.1 Área de estudio

Esta investigación se realizó en el ámbito de la ingeniería civil, sobre la estabilización de suelos, para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC), como unidad de mampostería con suelo-cemento y suelo-cal.

El suelo para estabilizar era procedente de la comunidad rural de Sabana Grande del municipio de Totogalpa, departamento de Madriz.

A partir de la obtención de muestras se procedió a realizar todos los cálculos y ensayos de laboratorio, estos fueron desarrollados bajo los parámetros establecidos en las normas ASTM y UNE 41410-2008.

4.2 Tipo de investigación

Se llevó a cabo una investigación experimental con el fin de determinar los efectos de las variables en la constante de estudio, a través de ensayos de laboratorio que permitieron determinar las propiedades del suelo en estudio y su incidencia en conjunto con estabilizantes, para determinar el comportamiento del bloque de tierra comprimida (BTC).

4.3 Métodos generales y particulares para utilizar

4.3.1 Fase exploratoria

Consultas bibliográficas, análisis de propiedades de suelo y su tratamiento mediante la adición de distintos materiales para crear una mezcla óptima que permita elaborar bloques de tierra comprimida (BTC), utilizando estudios previos realizados en otros países, así como normativas internacionales para complementar dicha información.

Extracción en el área de estudio y realización de sondeo manual con una sección de 1 metro de largo por 1 metro de ancho a una profundidad de 1 metro, evitando materia orgánica, esto para obtener las muestras de suelo representativa, para su posterior estudio, esta etapa es tan importante como cualquiera de las demás ya que depende de una buena toma de muestras para obtener buenos resultados en los previos ensayos.

4.3.2 Fase técnica

Posteriormente de efectuar el muestreo de campo, se hizo uso del laboratorio para conocer las propiedades físicas del suelo en estado natural: contenido de humedad, análisis granulométrico, límites líquidos, plástico e índice de plasticidad, ensayo de compactación Proctor y resistencia a la compresión simple de probetas, dichos ensayos correspondientes se efectuaron al suelo en estado natural, esto mediante los parámetros y normas indicadas en la tabla 6:

Tabla 6 Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural

Nombre del ensayo	Normas
Contenido de humedad	ASTM D 2216
Determinación del análisis granulométrico de los suelos (método mecánico)	ASTM D 422
Determinación del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos.	ASTM D 4318
Clasificación de los suelos	SUCS y AASHTO
Ensayo de compactación de suelos "Método Proctor estándar"	ASTM D 698
Resistencia a la compresión sin confinar	ASTM D 2166

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber determinado las propiedades en estado natural del suelo, se procedió a realizar al menos 3 dosificaciones con distintos porcentajes de estabilizantes, para la obtención de suelo-cemento y suelo-cal, esto con el fin de realizar los ensayos mostrados en la Tabla 6, lo que nos permitió comparar la variación en el comportamiento del suelo estabilizado con el suelo natural.

Posteriormente, las mezclas se sometieron a pruebas de resistencia a compresión sin confinamiento para determinar las propiedades mecánicas de cada dosificación, a partir de los resultados físicos y mecánicos obtenidos, se seleccionó la dosificación óptima para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC).

Estos bloques fueron sometidos a pruebas de laboratorio para conocer sus propiedades mecánicas; resistencia a la compresión y resistencia a ciclos de humectación/secado, esto mediante los parámetros y normas indicadas en la siguiente tabla: (Tabla 7).

Tabla 7 Ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los BTC

Nombre del ensayo	Norma UNE 41410 – 2008
Resistencia a la compresión	Apartado 5.6 y 8.2
Resistencia a ciclos de humedad/secado	Apartado 5.7 y 8.3

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber obtenido los resultados de los ensayos realizados a los bloques de tierra comprimida (BTC) pudimos determinar las propiedades de estos, lo cual permitió evaluar el comportamiento del bloque con el suelo en estado natural y la mejoría que aporta cada estabilizante a las propiedades de dichas unidades de mampostería.

4.3.3 Fase de interpretación y presentación de resultados

Una vez finalizado el proceso de laboratorio, se procesaron los datos obtenidos y se procedió a su debido análisis tomando como parámetro la normativa UNE 41410-20008, de tal manera que se pudieran generar conclusiones y recomendaciones sobre la utilización de estabilizantes para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC).

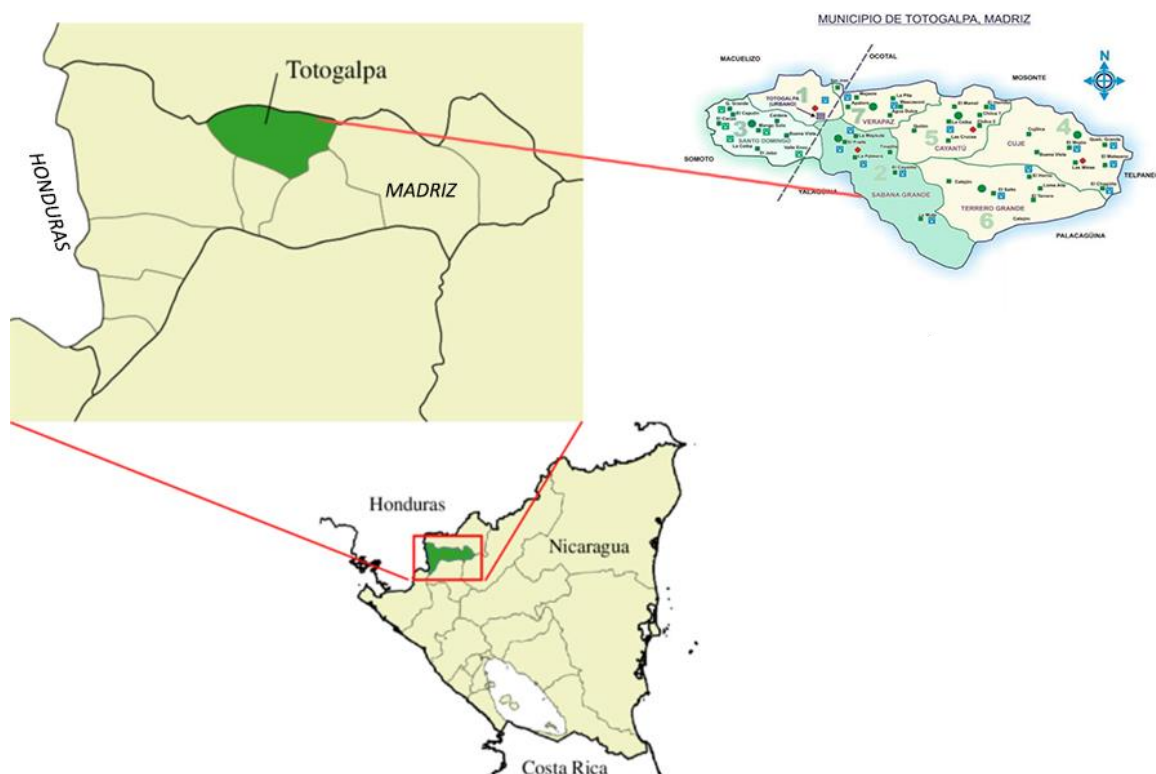
V. Desarrollo del diseño metodológico

5.1 Fase exploratoria

Las muestras extraídas del suelo en estudio en estado natural son procedentes de la comunidad rural de Sabana Grande, municipio de Tototalpa del departamento de Madriz, Nicaragua.

Macro localización y micro localización del lugar en donde fueron extraídas la muestra de suelo en estudio (Figura 8).

Figura 8 Ubicación del sitio de extracción del suelo en estudio



Fuente: Elaboración propia

Localizado el lugar, se extrajeron las muestras de suelo natural para la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas; asimismo, se realizó el sondeo por medio del método de Calicatas o Pozo a Cielo Abierto a través del procedimiento descrito:

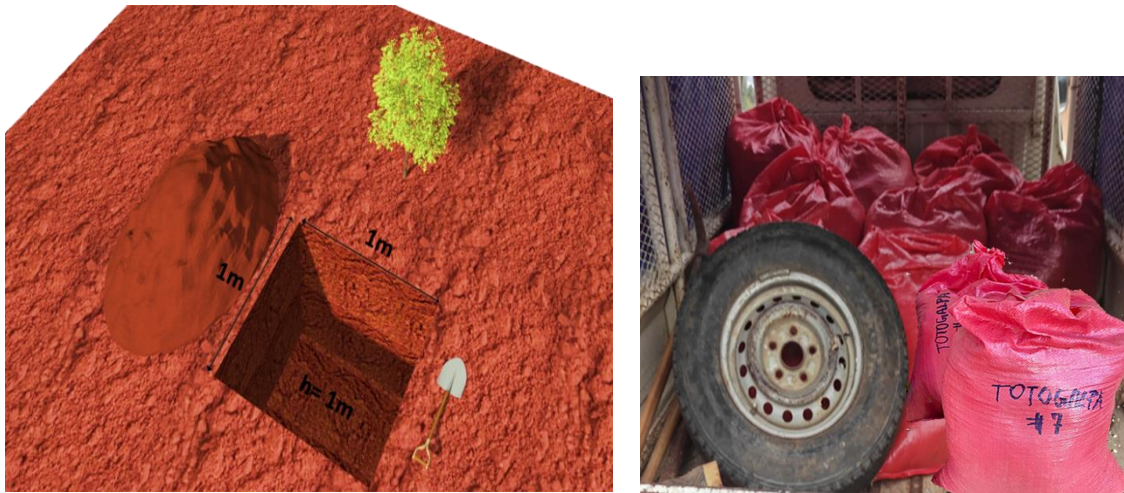
Referencias: (Villalaz, 2004)

Procedimiento:

1. El lugar de donde fue extraída la muestra de suelo natural es un predio que es utilizado como banco de material para proyectos locales que ejecuta la alcaldía, sin embargo, se realizó un sondeo exploratorio donde se determinó las dimensiones de donde fue obtenida la muestra.
2. Se limpió la superficie del sitio predeterminado.
3. Se marcó el perímetro del pozo a cielo abierto sobre la superficie de terreno con unas dimensiones de 1m de largo * 1m de ancho.
4. Se realizó el descapote (remoción de la capa superficial del terreno natural) en toda el área del pozo hasta que se alcanzó una profundidad de 15 cm por debajo del nivel superior de donde se extrajeron las muestras.
5. Luego de los 15 cm excavados se extrajeron las muestras de suelo natural, evitando materia orgánica.
6. Las muestras extraídas fueron almacenadas directamente en sacos para evitar la contaminación con agentes externos.
7. Las muestras almacenadas fueron rotuladas y transportadas el mismo día de la extracción.

En total se extrajeron 8 sacos con muestras de suelo natural, todas estas muestras fueron extraídas del mismo sitio, las cuales se ocuparon para la fabricación de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) y todos los ensayos que fueron realizados previo a su fabricación.

Figura 9 Excavación, extracción y almacenamiento de las muestras



Fuente: Elaboración propia

5.2 Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural

Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estado natural extraídas del sitio en estudio, para esto se emplearon los procedimientos establecidos por las normas **ASTM**. Los ensayos efectuados son detallados a continuación:

5.2.1 Análisis granulométrico

Para la determinación del tamaño de las partículas se realizó el análisis granulométrico del suelo natural en estudio, mediante el “método mecánico”, esto según la normativa **ASTM D 422**.

Método mecánico

Este método de ensayo cubre la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de las partículas de un suelo, por medio de un proceso de tamizado para tamaños de partículas retenidas en la malla N° 200 (0.075mm).

La manera de hacer esta determinación es por medio de tamices de abertura cuadrada. El procedimiento de ejecución del ensaye es simple y consiste en tomar una muestra de suelo de peso conocido, colocarlo en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz.

Procedimiento del ensayo

Se redujo la muestra de suelo a una cantidad representativa de 9,533.7 gramos, superando el peso mínimo según el diámetro máximo de las partículas más grandes de la muestra según la tabla 8.

Tabla 8 Peso mínimo de la porción de suelo natural retenida en el tamiz No 10 a utilizar en el tamizado, según el tamaño máximo de las partículas.

Diámetro Nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo de la porción en gramos
9.5 (3/8")	500
19.0 (3/4")	1000
25.4 (1")	2000
38.1 (1 1/2")	3000
5.8 (2")	4000
76.2 (3")	5000

Fuente: Recopilado de la guía de laboratorio de "Mecánica de suelos 1"

Método por tamizado: Conocido el peso retenido parcial (W_R) de cada tamiz utilizado, se calculó el porcentaje retenido parcial (%RP), el porcentaje retenido acumulado (%RA) y el porcentaje que pasa cada tamiz (%QP) de la siguiente forma:

$$\%RP = \left(\frac{W_R}{W_T} \right) * 100 \quad (EC-1)$$

Donde:

%RP = Porcentaje retenido parcial

WT = Peso total (gr)

WR = Peso retenido parcial en cada tamiz (gr)

$$\%RA = \%RP \text{ del tamiz anterior} + \%RP \text{ del tamiz en cuestión} \quad (\text{EC-2})$$

Donde:

%RA = Porcentaje retenidos acumulados

%RP = Porcentaje retenido parcial

$$\%QP = 100 \% - \%RA \quad (\text{EC-3})$$

Donde:

%QP = Porcentaje que pasa cada tamiz

%RA = Porcentaje retenidos acumulados

A continuación, se muestra un procedimiento donde fue cálculo el %RP, %RA y el %QP del primer tamiz (1") como ejemplo, dicho proceso de cálculo es repetitivo ya que se realizó con todos los pesos de suelo natural retenido por cada tamiz, los resultados que fueron obtenidos se muestran en tabla 9.

- Cálculo del porcentaje retenido parcial (%RP) del tamiz de 1":

$$\%RP = \left(\frac{48 \text{ grs}}{9,533.7 \text{ grs}} \right) * 100$$

$$\%RP = 1 \%$$

- Cálculo del porcentaje retenido acumulado (%RA) del tamiz de 1":

$$\%RA = 0 \% + 1 \%$$

$$\%RA = 1 \%$$

- Cálculo del porcentaje que pasa (%QP) del tamiz de 1”:

$$\%QP = 100 \% - 1 \%$$

$$\%QP = 99 \%$$

Tabla 9 Resultado de análisis granulométrico del material grueso retenido en el tamiz N°10

Tamiz N°	Peso retenido en cada tamiz (grs)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
1”	48	1	1	99
¾”	104.2	1	2	98
½”	331.9	3	5	95
3/8”	398.3	4	9	91
N°4	1377.8	14	24	76
N° 10	2326.6	24	48	52
Pasa N° 10	4946.9	52	100	
Suma	9533.7	100		

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis de las partículas de suelo natural que pasan por el tamiz N° 10, se tomó una muestra representativa de 80 gr, superando el peso mínimo según la tabla 10.

Tabla 10 Peso mínimo de la porción de suelo que pasa el tamiz N° 10, según el tipo de suelo.

Tipo de suelo	Peso mínimo (gramos)
Suelos arcillosos y limosos	65
Suelos arenosos	115

Fuente: Recopilado de la guía de laboratorio de “Mecánica de suelos 1”

Para poder hacer la presentación grafica de la curva granulométrica, se corrigieron los porcentajes que pasaron por cada tamiz a partir del N° 16, esto debido a que no se tomó toda la muestra para el análisis granulométrico que paso por el tamiz N° 10, la corrección se detalla a continuación:

- Cálculo del porcentaje retenido parcial (%RP) del tamiz N° 16:

$$\%RP = \left(\frac{8.4 \text{ grs}}{80 \text{ grs}} \right) * 52 \% (\% \text{ que paso el tamiz N}^\circ 10 \text{ de toda la muestra})$$

$$\%RP = \mathbf{5 \%}$$

- Cálculo del porcentaje retenido acumulado (%RA) del tamiz N° 16:

$$\%RA = 5 \% + 48 \% (\% \text{ retenido acumulado del tamiz N}^\circ 10 \text{ ver tabla 9})$$

$$\%RA = \mathbf{54 \%}$$

- Cálculo del porcentaje que pasa (%QP)) del tamiz N° 16:

$$\%QP = 100 \% - 54 \%$$

$$\%QP = \mathbf{46 \%}$$

Para el cálculo de todos los %RP se calculó con el 52% que paso el tamiz N° 10 de toda la muestra y para los %RA y %QP a partir del tamiz N° 40 se calculó igual al procedimiento que se efectuó en el análisis granulométrico del material que retuvo el tamiz N° 10, los resultados que fueron obtenidos se muestran en tabla 11.

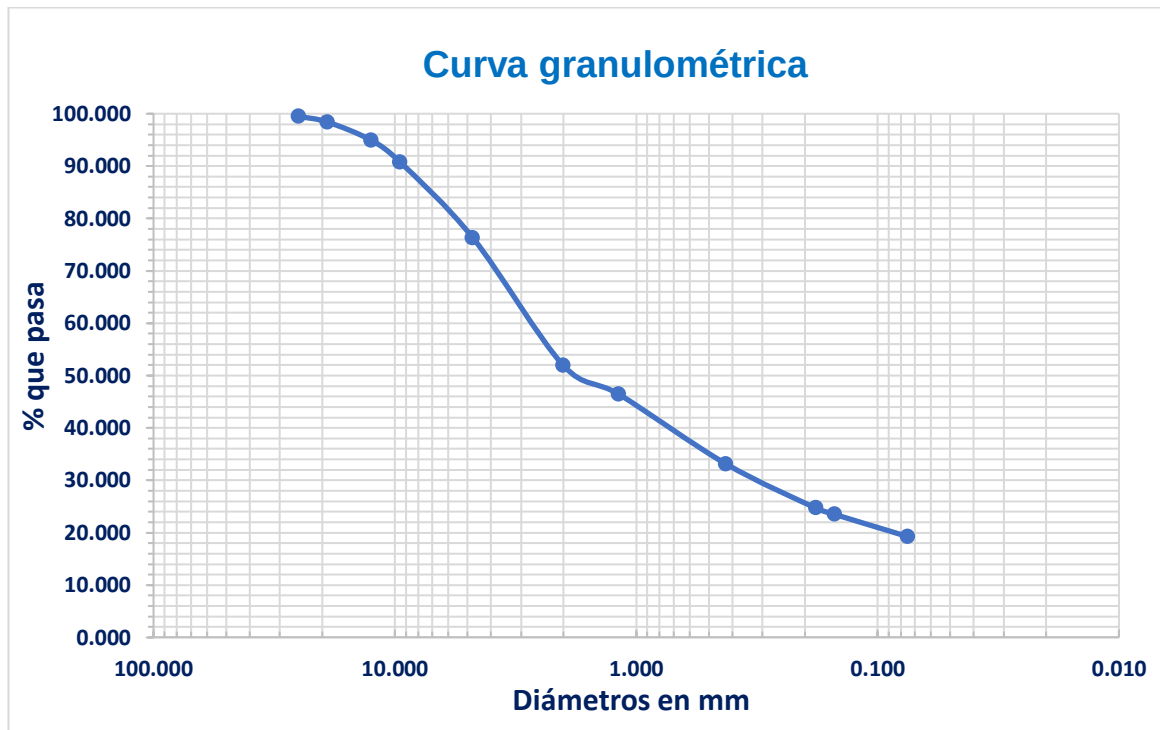
Tabla 11 Resultado del Análisis granulométrico del material fino que paso el tamiz N° 10

Tamiz N°	Peso retenido en cada tamiz (grs)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
16	8.4	5	54	46
40	20.5	13	67	33
80	13	8	75	25
100	1.9	1	77	23
200	6.5	4	81	19
Pasa N° 200	29.7	19	100	0
Suma	80	52		

Fuente: Elaboración propia

En el análisis granulométrico del material en estudio por medio del método mecánico permitió obtener los porcentajes retenidos parciales, retenidos acumulados y porcentaje que pasa por cada tamiz, esto permitió poder representarlos de manera gráfica por medio de la curva granulométrica (grafica 1), que es la curva que refleja el porcentaje que pasa por cada tamiz, ubicados en las ordenas y el diámetro de los tamices en las abscisas, esto en un papel semi logarítmico.

Gráfica 1 Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Esto también permitió poder conocer el porcentaje de material que contiene la muestra en estudio, calculada de la siguiente manera:

$$\% \text{ Gravas} = 100\% - \% \text{ Pasa el tamiz N}^{\circ}4 \quad (\text{EC-4})$$

$$\% \text{ Gravas} = 100\% - 76\%$$

$$\% \text{ Gravas} = 24 \%$$

$$\% \text{ Finos} = \% \text{ Pasa tamiz N}^{\circ} 200 \quad (\text{EC-5})$$

$$\% \text{ Finos} = 19 \%$$

$$\% \text{ Arena} = 100 \% - \% \text{ Gravas} - \% \text{ Finos} \quad (\text{EC-6})$$

$$\% \text{ Arena} = 100 \% - 24 \% - 19 \%$$

$$\% \text{ Arena} = 57 \%$$

Tabla 12 Resultado de análisis granulométrico

Porcentaje de Grava	24 %
Porcentaje de Arena	57 %
Porcentaje de finos	19 %

Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación de resultados

- El suelo en estudio se encuentra predominantemente conformado por arena, siendo un material granular. Contiene un 57 % de arena, un 24 % de grava y 19 % de materiales finos.

5.2.2 Límites de consistencia

Para la determinación del límite líquido, plástico y el índice de plasticidad del suelo en estudio, se realizaron los procedimientos de los ensayos mediante la norma **ASTM D 4318**.

Procedimiento del ensayo

Para la determinación del límite líquido, se ocupó el Método A, según la norma ASTM D 318; que consiste en representar la relación entre el contenido de agua W y el correspondiente número de golpes N, en un gráfico semilogarítmico. Dibujando una línea recta a través de los mejores tres o cuatro puntos marcados. Se toma el contenido de agua correspondiente a la intersección de 25 golpes con el límite líquido gráficamente.

Para este ensayo se ocupó una muestra representativa de 250 gramos del material que pasa por el tamiz N° 40, esta cantidad de material se utilizó para cada ensayo realizado en este estudio.

Ecuaciones ocupadas para el proceso de cálculo:

- Cálculo del peso del agua (gramos)

$$W_w = (W_h + T) - (W_s + T) \quad (\text{EC-7})$$

Donde:

W_w = Peso del agua (gramos)

$W_h + T$ = Peso de muestra húmeda más tara (grs)

$W_s + T$ = Peso de muestra seca más tara (grs)

- Cálculo del peso seco (gramos)

$$W_s = (W_s + T) - T \quad (\text{EC-8})$$

Donde:

W_s = Peso seco (gramos)

$W_s + T$ = Peso de muestra seca más tara (grs)

T = Peso de la tara (grs)

- Cálculo del contenido de humedad (%)

$$\%w = \left(\frac{(W_h + T) - (W_s + T)}{(W_s + T) - T} \right) * 100 \quad (\text{EC-9})$$

Donde:

$\%w$ = Contenido de humedad (%)

$W_h + T$ = Peso de muestra húmeda más tara (grs)

$W_s + T$ = Peso de muestra seca más tara (grs)

T = Peso de la tara (grs)

A continuación, se muestra un procedimiento donde fue cálculo el W_w , W_s y el $\%w$ del primer ensaye este sirviendo como ejemplo ya que dicho proceso es repetitivo en todo el proceso del cálculo del ensayo, los resultados que fueron obtenidos del suelo natural se muestran en tabla 13.

- Cálculo del peso del agua (gramos) del suelo natural

$$W_w = 38.1 \text{ grs} - 34.8 \text{ grs}$$

$$W_w = \mathbf{3.3 \text{ grs}}$$

- Cálculo del peso seco (gramos)

$$W_s = 34.8 \text{ grs} - 21.7 \text{ grs}$$

$$W_s = \mathbf{13.1 \text{ grs}}$$

- Cálculo del contenido de humedad (%)

$$\%w = \left(\frac{(38.1 \text{ grs}) - (34.8 \text{ grs})}{(34.8 \text{ grs}) - 21.7 \text{ grs}} \right) * 100$$

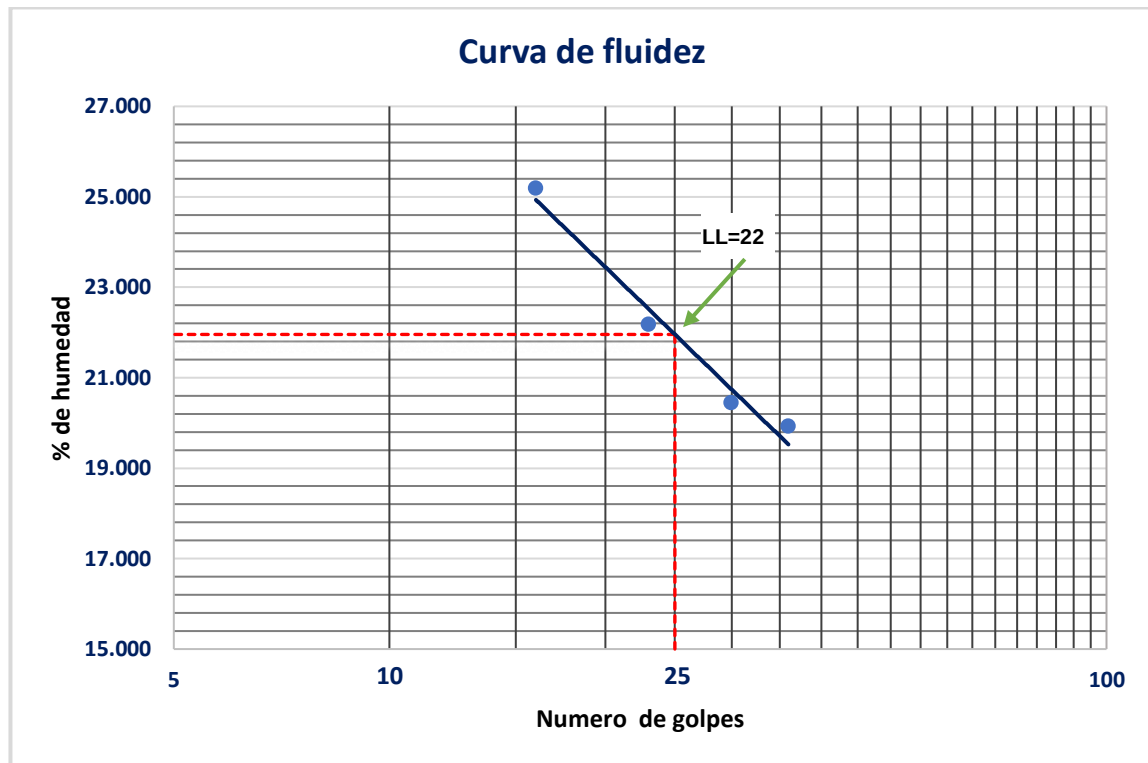
$$\%w = \mathbf{25.191\%}$$

Tabla 13 Límite líquido del suelo natural

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de golpes	16	23	30	36
Tara N°	h-11	d-09	d-08	h-5
Peso de tara (gr)	21.7	21.2	21.7	21.8
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	38.1	46	49.4	50.1
Peso de muestra seca más tara (grs)	34.8	41.5	44.7	45.4
Peso de agua (grs)	3.3	4.5	4.7	4.7
peso seco (grs)	13.1	20.3	23	23.6
Contenido de humedad (%)	25.191	22.167	20.435	19.915

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2 Curva de Fluidez del Suelo natural



Fuente: Elaboración propia

El valor del Limite liquido (22) del suelo natural, es el valor del contenido de agua correspondiente a la intercesión de 25 golpes gráficamente (gráfica 2).

Para la determinación del límite plástico, se dividió en varias partes pequeñas de 20 a 30 gramos de suelo que se utilizó en el procedimiento de la determinación del límite líquido.

Para el cálculo del límite plástico se promedió los dos contenidos de humedad. Este es el valor del límite plástico. Los limites plásticos no pueden dar una diferencia mayor a 1.4 puntos porcentuales.

Tabla 14 Límite plástico del Suelo Natural

Ensayo N°	1	2
Tara N°	h-1	d-03
Peso de tara (g)	21.9	22
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	31.7	30.4
Peso de muestra seca más tara (grs)	30.6	29.5
Peso de agua (grs)	1.1	0.9
peso seco (grs)	8.7	7.5
Contenido de humedad (%)	12.644	12.000
Límite plástico (%)	12.32	

Fuente: Elaboración propia

Ya calculado el límite líquido y plástico, se procedió a determinar el índice de plasticidad del suelo, según la ecuación - 10.

$$IP = LL - LP \quad (EC-10)$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad
 LL = Límite líquido
 LP = Límite Plástico

$$IP = 22 - 12.32$$

$$IP = 9.88$$

Tabla 15 Índice de plasticidad del Suelo Natural

IP	9.68
-----------	-------------

Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación de resultados

Según los procedimientos de la norma **ASTM D 4318**, se determinaron los límites de consistencia del suelo natural, reflejados en la tabla 16:

Tabla 16 Resultado de los límites de consistencia de Suelo-Natural

Material	LL	LP	IP
Suelo Natural	22	12.32	9.68

Donde: LL = Limite líquido, LP = Limite plástico y IP = Índice de plasticidad

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Clasificación del suelo

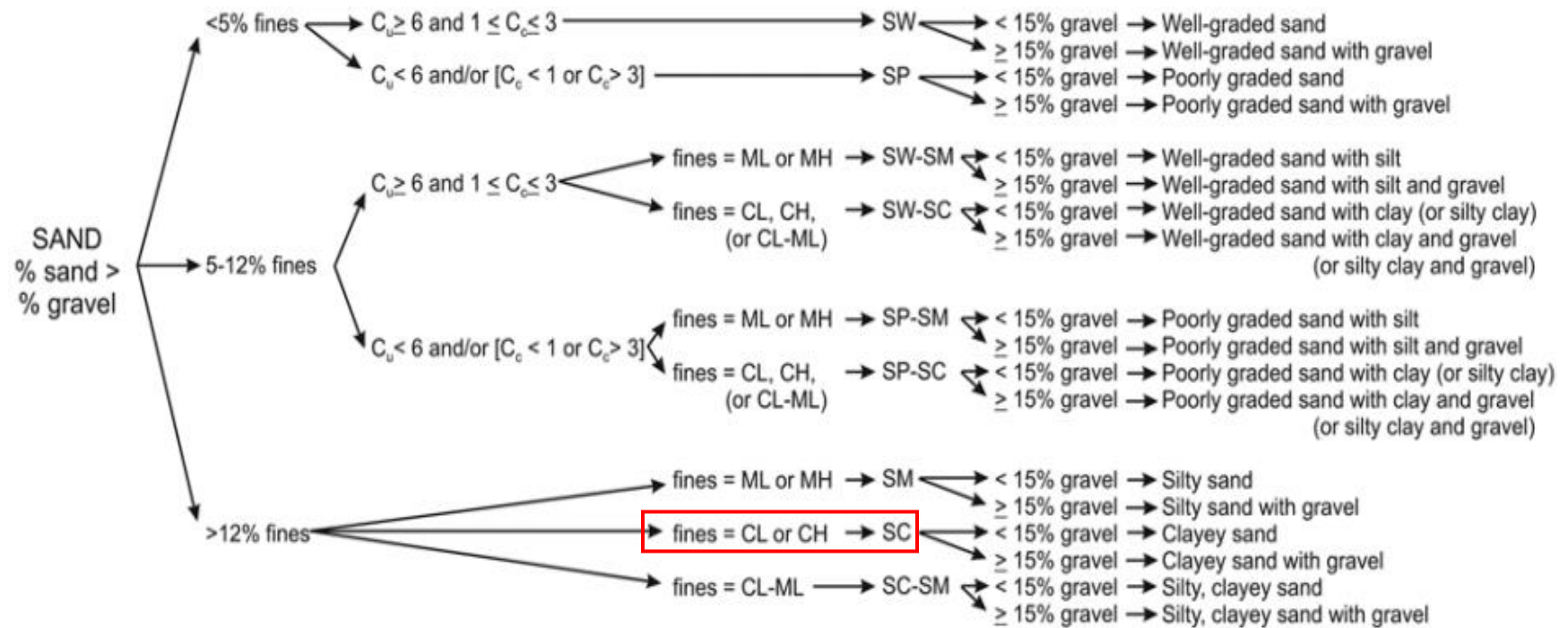
De acuerdo con su granulometría y límites de consistencia del suelo natural en estudio, se clasificó mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos **(SUCS)** y el sistema de clasificación AASHTO de la siguiente manera:

Para la clasificación adecuada de acuerdo con el Sistema Unificado de clasificación de Suelo (SUCS), una parte o toda la siguiente información debe conocerse:

1. Porcentaje de grava **(24 %)**, esto es, la fracción que pasa el tamiz de 76.2 mm y retenida en el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura) del suelo natural.
2. El porcentaje de arena **(57 %)**, es decir, la fracción que pasa el tamiz núm. 4 (4.75 mm de apertura) y es retenida en el tamiz núm. 200 (0.075 mm de apertura) del suelo natural.
3. El porcentaje de limo y arcilla **(19 %)**, esto es, la fracción más fina que el tamiz núm. 200 (0.075 mm de abertura) del suelo natural.
4. El límite líquido **(22)** y el índice de plasticidad **(9.68)** de la porción de suelo natural que pasa el tamiz núm. 40.

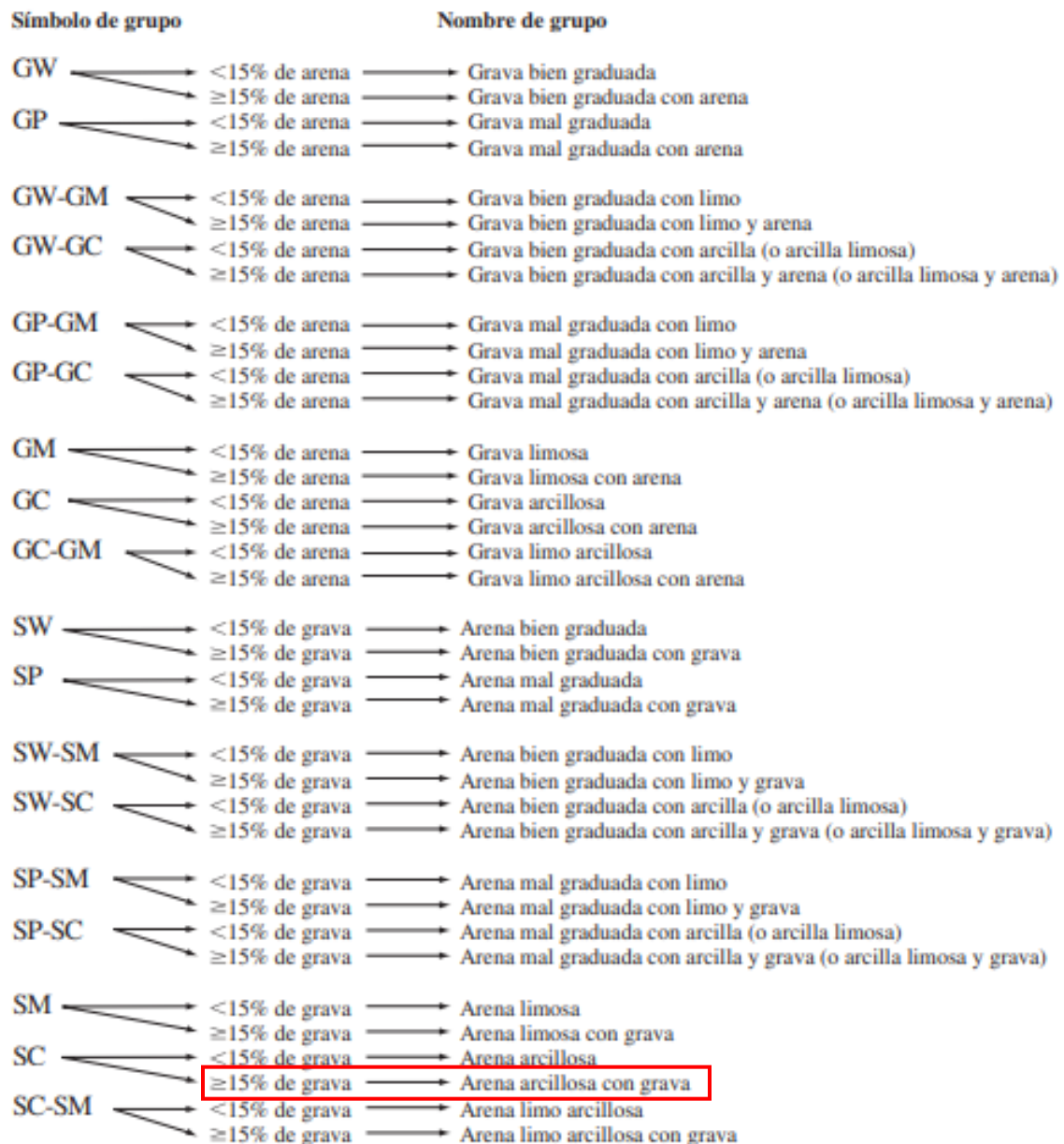
Los distintos suelos clasificados bajo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelo (SUCS) se pueden determinar usando las figuras 10, 11 y 12.

Figura 10 Cuadro de Flujo para Clasificar Suelos de Grano Grueso.



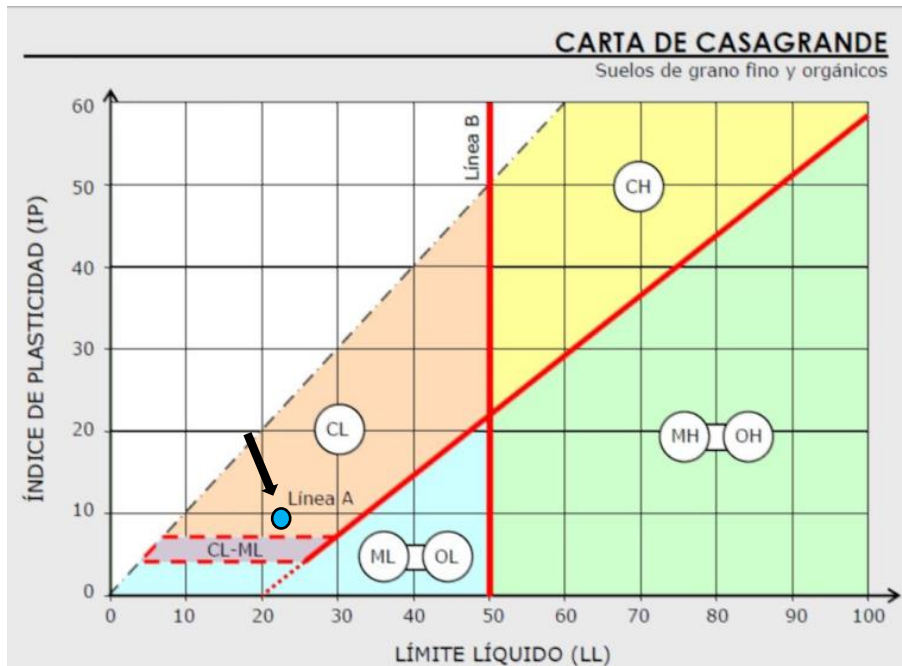
Fuente: (ASTM D2487 - 11, 2011) Pag – 12.

Figura 11 Diagrama de flujo para los nombres de los grupos de grava y arena del suelo Natural.



Fuente: (Das, 2013) Pag – 106.

Figura 12 Clasificación según el LL y IP del suelo natural



Fuente: Elaboración propia

Según su granulometría:

El porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 es **19 %**, que es menor a 50%. Así que es un suelo de grano grueso. Por lo tanto, la fracción gruesa = $100\% - 19\% = 81\%$.

La fracción de grava es igual al porcentaje retenido en el tamiz N° 4 = $100\% - 76\% = 24\%$. Así que más del 50% de la fracción gruesa está pasando por el tamiz N° 4, por lo tanto, es un **suelo arenoso**. Puesto que más del 12% está pasando por el tamiz N° 200, éste está entre SM o SC.

Según sus límites de consistencia:

Para este suelo, el IP = **9.68** (que es mayor que 7). Con el LL = 22 y IP = 9.68 podemos que los valores están por encima de la línea A de la figura 12. Por lo tanto, el símbolo del grupo es **SC**.

Para obtener el nombre del grupo, se ocupó la figura 10 y 11. Dado que el porcentaje de grava es más de 15%, es una **Arena arcillosa con grava**.

Para la clasificación de suelo mediante **(AASTHO)** se describe el procedimiento para clasificar los suelos en siete grupos, basado en la granulometría, límite líquido y límite plástico.

Este método determina un Índice de grupo que se determina:

$$IG = (F - 35) (0,2 + 0,005(LL - 40)) + 0,01(F - 15) (IP - 10) \quad (EC-11)$$

Donde: IG = Índice de grupo
 F = Porcentaje que pasa por el tamiz N° 200
 LL = Limite liquido
 IP = Índice de plasticidad

El resultado del grupo se informa en números enteros y si su valor es negativo se informa igual a cero. El valor del índice de grupo se debe informar siempre entre paréntesis.

Cálculo del IG:

$$IG = (19.26 - 35) (0,2 + 0,005(22 - 40)) + 0,01(19.26 - 15) (9.68 - 10)$$

$$IG = (0)$$

Se tomaron en cuenta todas las propiedades físicas del suelo natural en estudio para poder hacer la clasificación.

Figura 13 Clasificación de suelo natural según AASTHO

CLASIFICACION GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) hasta el 35 %							SUELOS ARCILLOSO - LIMOSO Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) más del 35 %			
CLASIFICACION POR GRUPOS	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Tamiz IRAM de 2 mm.N° 10	Máx 50										
Tamiz IRAM de 425 micrómetros N° 40	Máx 30	Máx 50	Min 51								
Tamiz IRAM de 75 micrómetros N° 200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Min 35	Min 35	Min 35	Min 35
Características de la fracción que pasa por tamiz IRAM 425 micrómetros N° 40											
Límite Líquido ⁽¹⁾ L (%)	-	-	-	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41
Índice de Plasticidad I _p (%)	Máximo 6		No plástico	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11
Índice de Grupo IG	0	0	0	0	0	Máx 4	Máx 4	Máx 8	Máx 12	Máx 16	Máx 20
CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE TIPOS MAS COMUNES	Fragmentos de rocas, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas				Suelos limosas		Suelos arcillosos	
COMPORTAMIENTO GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno					Regular a pobre					

Fuente: Elaboración propia

Según estas consideraciones el suelo natural en estudio esta se encuentra en el Grupo **A-2**, Subgrupo **A-2-4** y un índice de grupo (**0**), teniendo el nombre de **Grava y arenas arcillosas limosas** de una calidad Excelente a Bueno.

Tablas de resultado según la clasificación AASSTHO y SUCS:

Tabla 17 Clasificación del suelo natural en estudio según SUCS

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)		
Tipo de Suelo	Símbolo	Descripción
Suelo natural	SC	Arena Arcillosa con Grava

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Clasificación del suelo natural en estudio según AASHTO

Sistema unificado de clasificación según AASHTO				
Tipo de suelo	Grupo	Subgrupo	Índice de grupo	Tipología
Suelo natural	A-2	A-2-4	0	Gravas y arenas limosas o arcillosas

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Compactación de los suelos

El propósito de este ensaye de compactación es determinar la curva de compactación del suelo natural en estudio. Este se realizó mediante el “Método Proctor estándar” bajo los requerimiento y procedimientos de la norma **ASTM D 698**.

Procedimiento de cálculo

El método de ensayo proporciona cuatro procedimientos alternativos para la determinación de la relación humedad-densidad de los suelos, el procedimiento adoptado para dicho ensayo fue el “Método A”.

Obtenidos los pesos de las muestras de suelo natural húmeda y seca de los especímenes compactados bajo en método Proctor Estándar, se procedió con los cálculos donde se determinaron los valores del contenido de humedad, peso volumétrico húmedo (densidad húmeda) y el peso volumétrico seco (densidad seca) de cada espécimen compactado de la siguiente manera:

- Calcular el contenido de Humedad:

$$\%w = \left(\frac{(W_h+T)-(W_s+T)}{(W_s+T)-T} \right) * 100 \quad (\text{EC} - 5.2.8)$$

Donde:

%w = Porcentaje de humedad

W_h = Peso de la muestra húmeda

W_s = Peso de la muestra seca

T = Peso de la tara

- Cálculo del peso volumétrico húmedo (densidad húmeda) en cada espécimen compactado :

$$Y_h = \left(\frac{(W_h+m)-W_m}{V_m} \right) \quad (\text{EC} - 5.2.9)$$

Donde:

Y_h = Peso volumétrico húmedo en Kg/m³

W_h+m = Peso de la muestra húmeda más molde

W_m = Peso del molde

V_m = Volumen del molde

- Cálculo del peso volumétrico seco (densidad seca) en cada espécimen compactado:

$$Y_d = \left(\frac{\gamma_h}{1 + \left(\frac{\%w}{100} \right)} \right) \quad (\text{EC} - 5.2.10)$$

Donde:

Y_d = Peso volumétrico seco en Kg/m³

Y_h = Peso volumétrico húmedo en Kg/m³

%w = Porcentaje de humedad

A continuación, se muestra un procedimiento donde fue cálculo el %w, Y_h y la Y_d del primer ensaye, este sirviendo como ejemplo ya que dicho proceso es repetitivo en todo el proceso del cálculo del ensayo, los resultados que fueron obtenidos del suelo natural se muestran en las tablas 19, 20 y 21.

- Calcular el contenido de Humedad de suelo con humedad natural:

$$\%w = \left(\frac{(254.6 \text{ grs}) - (242.3 \text{ grs})}{(242.3 \text{ grs}) - 47.7} \right) * 100$$

$\%w = \mathbf{6.21\%}$

- Cálculo del peso volumétrico húmedo (densidad húmeda) del espécimen compactado con humedad natural:

$$Y_h = \left(\frac{(6.0846 \text{ kg}) - 4.1732 \text{ kg}}{0.000939697 \text{ m}^3} \right)$$

$Y_h = \mathbf{2034.059 \text{ kg/m}^3}$

- Cálculo del peso volumétrico seco (densidad seca) en cada espécimen compactado:

$$Y_d = \left(\frac{2034.059 \text{ kg/m}^3}{1 + \left(\frac{6.321\%}{100} \right)} \right)$$

$$Y_d = \mathbf{1913.136 \text{ kg/m}^3}$$

Tabla de resultado de los cálculos de %w, Y_h y la Y_d :

Tabla 19 Resultados del Contenido de humedad

Contenido de humedad					
Humedad	Natural	+ 2%	+ 4%	+ 6%	Unidad
Tara	D-12	A-22	I-C	A-05	
Wh+T	254.6	188.6	292.5	327.4	gramos
Ws+T	242.3	177.3	267.9	296	gramos
T	47.7	41	41.2	41.7	gramos
%w	6.321	8.291	10.851	12.348	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20 Resultados del peso volumétrico húmedo (densidad húmeda)

Densidad húmeda					
Humedad	Natural	+ 2%	+ 4%	+ 6%	Unidad
Tara	D-12	A-22	I-C	A-05	
Wh+m	6.0846	6.2254	6.2474	6.2236	kg
Wm	4.1732	4.1732	4.1732	4.1732	kg
Vm	0.000939697	0.000939697	0.000939697	0.000939697	m3
Y_h	2034.059	2183.894	2207.306	2181.979	kg/m3

Fuente: Elaboración propia

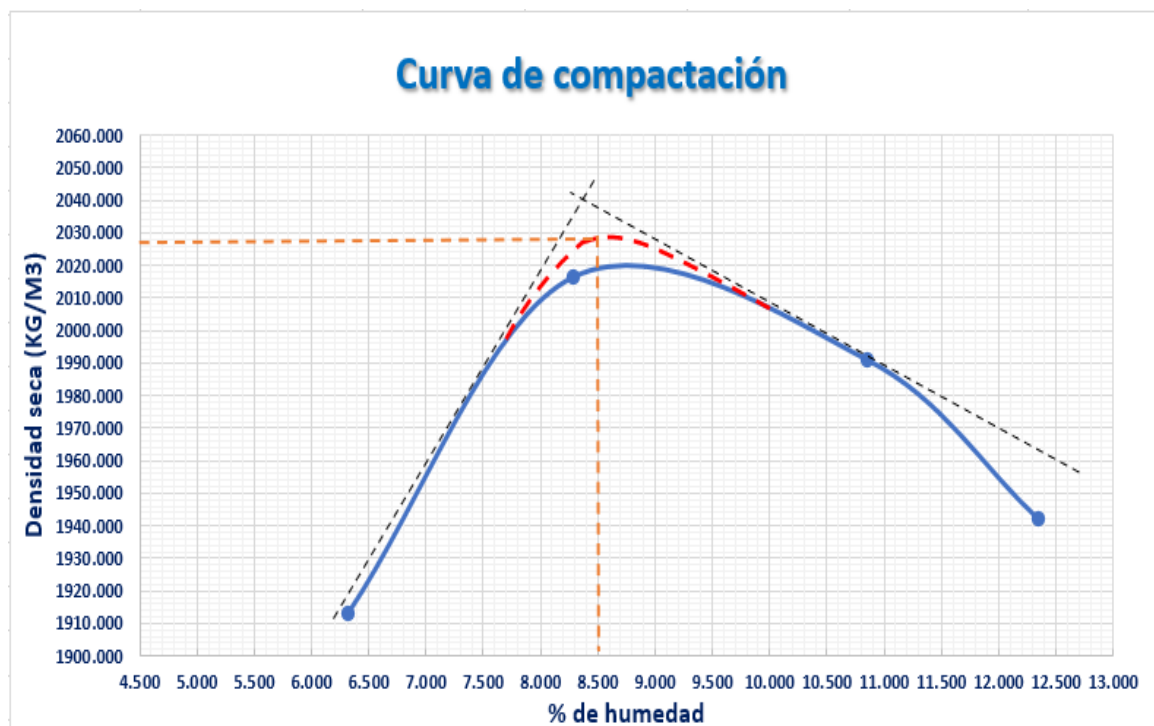
Tabla 21 Resultados del peso volumétrico seco (densidad seca)

Densidad seca					
Humedad	Natural	+ 2%	+ 4%	+ 6%	Unidad
Tara	D-12	A-22	I-C	A-05	
γ_h	2034.059	2183.894	2207.306	2181.979	kg/m ³
%w	6.321	8.291	10.851	12.348	%
γ_d	1913.136	2016.699	1991.231	1942.167	kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtenidos los pesos volumétricos secos de cada muestra con sus correspondientes contenidos de humedad, se trazó la gráfica, Peso volumétrico seco Vs. Contenido de humedad (en escala aritmética). La ordenada del punto máximo de la curva se designa como peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{dmax.}$) y la abscisa de este punto se denomina contenido de humedad óptima ($\omega_{opt.}$).

Gráfica 3 Curva de compactación



Fuente: Elaboración propia

Los valores de humedad óptima representan la cantidad de agua a usar cuando se compacta el suelo en el terreno, para obtener el peso volumétrico seco máximo a una energía de compactación correspondiente a la del método empleado en el laboratorio.

Para poder determinar los valores de la densidad seca máxima ($\gamma_{dmax.}$) y el contenido de humedad óptimo ($\%w_{opt.}$), se tuvo que realizar la corrección de la curva de compactación empleando dos tangentes que se intersecaran entre si solo tocando un punto de la curva, luego se prolongó la curva hasta su punto más alto, de donde pudimos obtener los resultados del ensaye de compactación bajo el Método Proctor Estándar.

La densidad seca máxima ($\gamma_{dmax.}$) resultante del suelo natural, fue de **2028 kg/m³** y el contenido de humedad óptimo ($\%w_{opt.}$) fue de **8.5%**, esto para lograr la compactación máxima del suelo natural en estudio.

5.2.5 Resistencia a la Compresión de probetas de suelo en estado natural

Basándonos en los resultados obtenidos del ensayo de compactación mediante el Método Proctor estándar, se fabricaron probetas de las cuales se pudo determinar la resistencia a la compresión que ofrece el suelo en estado natural cuando no está sometido a confinamiento.

Para la fabricación de las probetas de suelo natural, se tomó una cantidad de suelo que paso por el tamiz N°4 equivalente a 18kg, tomando en cuenta su $\%w_{opt}$ y su porcentaje de agua del suelo natural, se procedió agregarle el porcentaje de agua faltante para llegar al $\%w_{opt}$, el procedimiento que se adoptó para la fabricación de las probetas de suelo natural fue bajo el método Proctor Estándar siguiendo los procedimientos que describe la norma ASTM D 698, en total se fabricaron 9 probetas que serán ensayadas a los 7, 14 y 21 días.

Las probetas se dejaron secar a temperatura del laboratorio, simulando el secado a como describe la normativa española UNE-EN 772-1:2002. Una vez listas las probetas se procede a realizar el ensaye de compresión a las probetas cilíndricas de 4 pulgadas de diámetro, para lo cual utilizamos de referencia la norma **ASTM D 2166** y la **ASTM C1231**.

Figura 14 Probetas de suelo natural



Fuente: Elaboración propia

Este ensaye se basó en la colocación de dos almohadillas de neopreno, estas se colocaron en los extremos del cilindro verificando así que no tengan grietas o desgastes considerables como describe la normativa **ASTM C1231**. Las probetas cilíndricas se alineo al eje central con la almohadilla, el retenedor y la cabeza de la máquina de ensayo a como establece la norma **ASTM D 2166**, obteniendo así los resultados de la tabla 22.

Figura 15 Probeta de suelo natural sometida a resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

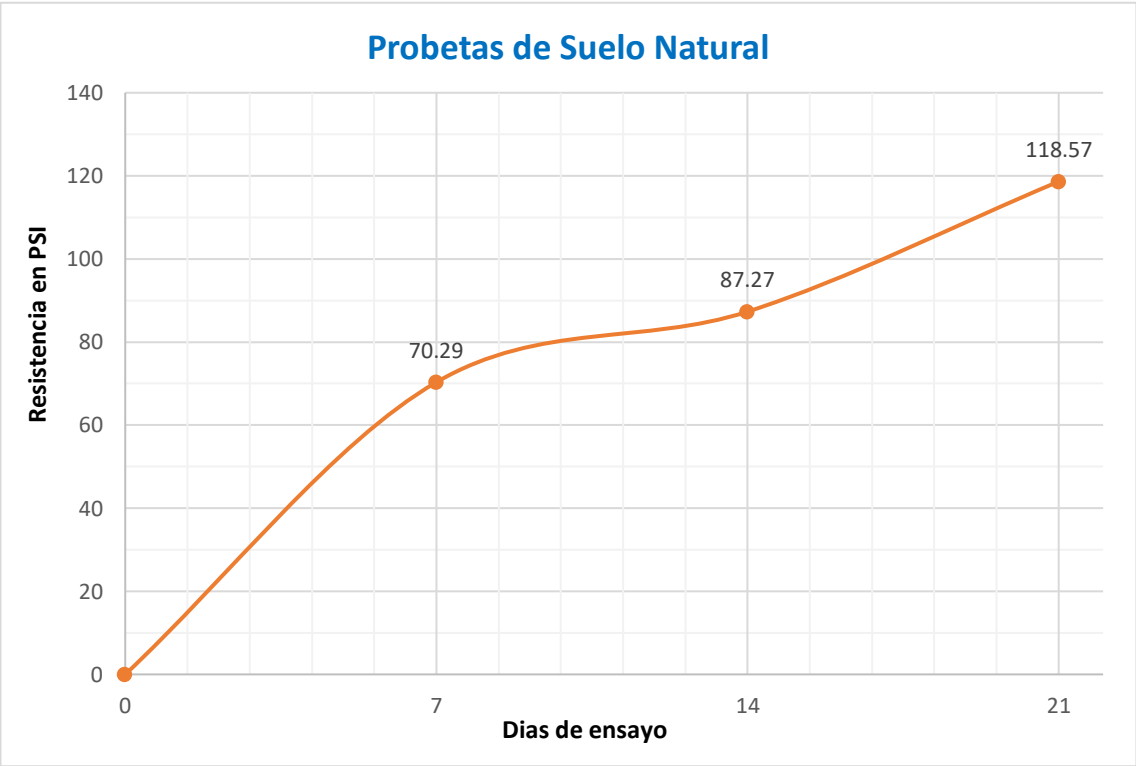
Tabla 22 Resultados del ensaye de resistencia a la compresión del suelo natural

Resultados del ensaye de resistencia a la Compresión Simple						
N° de probetas	Edad (días)	Carga (Lbs/f)	Área del cilindro (Pul ²)	Resistencia S=P/A		
				Kg/cm²	Lbs/pulg	N/mm²
Suelo Natural						
3	7	883.33	12.5664	4.9421	70.293	0.4847
3	14	1096.67	12.5664	6.1357	87.270	0.6017
3	21	1490	12.5664	8.3363	118.570	0.8175

Fuente: Elaboración propia

Donde: S: Resistencia a la compresión
P: Carga máxima
A: área

Gráfica 4 Comportamiento de la resistencia a la compresión del suelo natural



Fuente: Elaboración propia

5.3 Estabilización de suelo natural con cal hidratada

Para el proceso de estabilización del suelo natural con cal hidratada se tomó como referencia la norma española **UNE 41410:2008** que establece en el apartado 5.5.1 (ver norma en anexo 1) que para la fabricación de BTC el porcentaje de estabilizante debe ser menor o igual al 15%, es por ello por lo que para este estudio se propusieron ocupar los porcentajes del 5, 10 y 15% de Cal hidratada.

Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado con Cal hidratada, para esto se emplearon los procedimientos establecidos por las normas **ASTM**. Los ensayos efectuados son detallados a continuación:

5.3.1 Límites de consistencia

Para la determinación del límite líquido, plástico y el índice de plasticidad del suelo estabilizado con Cal hidratada, se realizaron los procedimientos de los ensayos mediante la norma **ASTM D 4318**.

Procedimiento del ensayo

Para la determinación del límite líquido, se ocupó el Método A, según la norma ASTM D 4318; que consiste en representar la relación entre el contenido de agua W y el correspondiente número de golpes N, en un gráfico semilogarítmico. Dibujando una línea recta a través de los mejores tres o cuatro puntos marcados. Se toma el contenido de agua correspondiente a la intersección de 25 golpes con el límite líquido gráficamente.

Para este ensayo se ocupó una muestra representativa de 250 gramos del material que pasa por el tamiz N° 40 y se le sumo el peso según el porcentaje de estabilizante (Cal Hidratada) ocupado en el ensaye, los cuales fueron:

- 5% (12.5 gramos),
- 10% (25 gramos)
- 15% (37.5 gramos)

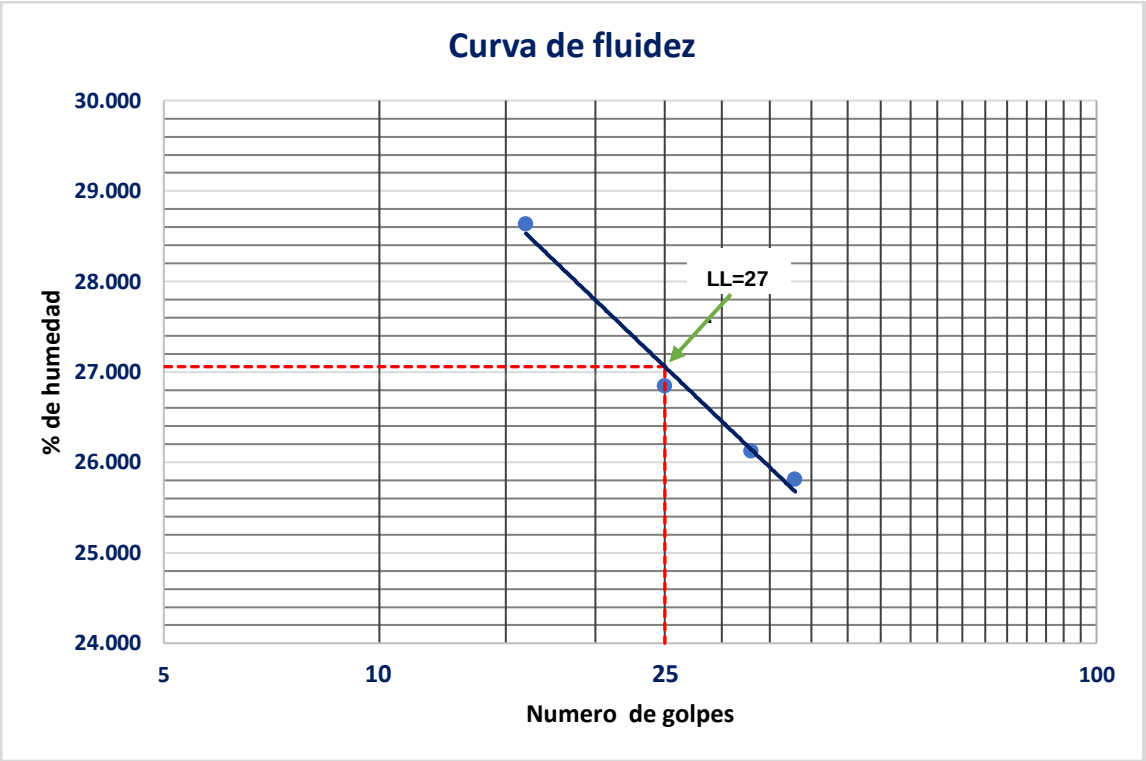
El procedimiento de cálculo para determinar los límites de consistencia para el suelo estabilizado con Cal Hidratada según sus porcentajes (5,10 y 15%) es igual al que se determinó con el suelo en estado natural. A continuación, se muestran los datos obtenidos para el ensaye del Suelo + 5% Cal Hidratada:

Tabla 23 Límite líquido del Suelo + 5% Cal Hidratada

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de golpes	16	25	33	38
Tara N°	h-1	A-07	J-03	D-07
Peso de tara (gr)	21.9	22	21.2	21.8
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	49.3	51.3	55	56.9
Peso de muestra seca más tara (grs)	43.2	45.1	48	49.7
Peso de agua (grs)	6.1	6.2	7	7.2
peso seco (grs)	21.3	23.1	26.8	27.9
Contenido de humedad (%)	28.638	26.840	26.119	25.806

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5 Curva de fluidez del suelo + 5% Cal hidratada



Fuente: Elaboración propia

El valor del Limite liquido (27) del suelo + 5% Cal Hidratada, es el valor del contenido de agua correspondiente a la intercesión de 25 golpes gráficamente (gráfica 5).

Tabla 24 Límite plástico del Suelo + 5% Cal Hidratada

Ensaye N°	1	2
Tara N°	H-2	H-6
Peso de tara (g)	21.7	21.6
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	46.5	44.3
Peso de muestra seca más tara (grs)	42.6	40.8
Peso de agua (grs)	3.9	3.5
peso seco (grs)	20.9	19.2
Contenido de humedad (%)	18.660	18.229
Límite plástico (%)	18.445	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25 Índice de plasticidad del Suelo + 5% Cal Hidratada

IP	8.555
-----------	-------

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de los límites de consistencia del Suelo + 10 y 15% de Cal hidratada solo se reflejan los valores obtenidos del LL, LP y IP en la tabla 26, esto debido a que el proceso es repetitivo, los datos obtenidos del ensaye, tablas y curva de fluidez se aprecian en el anexo 2 y 3.

Análisis e interpretación de resultados

Según los procedimientos de la norma **ASTM D 4318**, se determinación los límites de consistencia del Suelo + 5, 10 y 15 % de Cal Hidratada, estos reflejados en la tabla 26:

Tabla 26 Resultado de los límites de consistencia del Suelo + 5,10 y 15% Cal Hidratada.

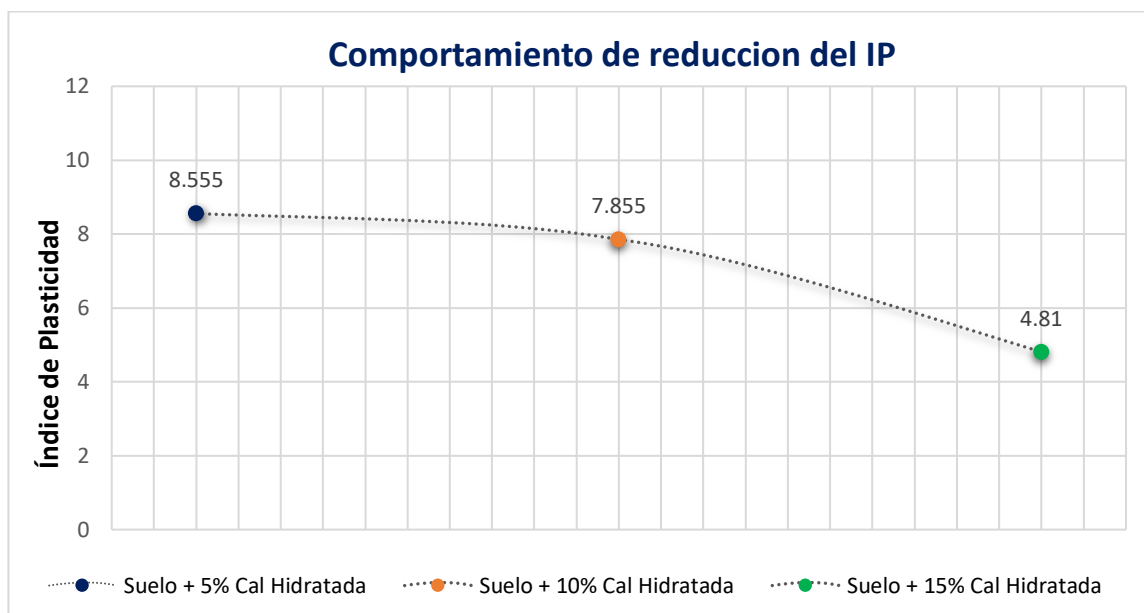
Material	LL	LP	IP
Suelo + 5% Cal Hidratada	27	18.445	8.555
Suelo + 10% Cal Hidratada	26.91	19.055	7.855
Suelo + 15% Cal Hidratada	27.01	22.20	4.810

Donde: LL = Límite líquido, LP = Límite plástico y IP = Índice de plasticidad

Fuente: Elaboración propia

Como se logra apreciar en la tabla 26 y la gráfica 6, el comportamiento del IP es de manera descendente, esto haciendo que el suelo perdiera plasticidad, el porcentaje de estabilizante que tuvo más reducción del IP fue el 15% Cal Hidratada, logrando reducir el IP = 4.810.

Gráfica 6 Comportamiento del IP según el suelo + 5,10 y 15% de Cal Hidratada



Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Resistencia a la compresión de probetas de suelo - Cal Hidratada

Basándonos en los resultados obtenidos del ensayo de compactación del Suelo Natural mediante el Método Proctor estándar, se fabricaron probetas de las cuales se pudo determinar la resistencia a la compresión que ofrece el suelo + 5,10 y 15% Cal Hidratada cuando no está sometido a confinamiento.

Para la fabricación de las probetas de suelo + 5,10 y 15% Cal Hidratada, se tomó una cantidad de suelo natural que paso por el tamiz N° 4 equivalente a 18kg y se sumó el peso de cada porcentaje de estabilizante en estudio, los cuales fueron:

- 5% (0.9 kg)
- 10% (1.8 kg)
- 15% (2.7kg)

El peso de 18 kg de suelo natural es equivalente para la fabricación 9 probetas del cual se calculó el peso de estabilizante según el porcentaje que se ocupó.

Se tomo en cuenta el porcentaje de agua que tenía el suelo natural y se procedió agregarle el porcentaje de agua faltante para llegar al $\%w_{opt}$, el procedimiento que se adoptó para la fabricación de las probetas de suelo + 5, 10 y 15% de Cal Hidratada, fue bajo el método Proctor Estándar siguiendo los procedimientos que describe la norma ASTM D 698, en total se fabricaron 27 probetas que se ensayaron 9 a los 7, 9 a los 14 y 9 a los 21 días.

Figura 16 Preparación del suelo + el 10% de Cal Hidratada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17 Mezcla de suelo + 10% Cal Hidratada y proceso de compactación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 18 Proceso de enrasamiento y desmonte del collarín del molde.



Fuente: Elaboración propia

Para el proceso de secado y el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas de suelo + 5, 10 y 15% Cal Hidratada se realizó bajo los requerimientos que estipulan las normas **ASTM D 2166** y **ASTM C123**. Las cuales se ocuparon y detallaron con las probetas de suelo natural.

Figura 19 Probetas de suelo + 5, 10 y 15% Cal Hidratada



Fuente: Elaboración propia

Dando continuidad a lo antes mencionado se presentan imágenes y tabla de resultados del ensayo de resistencia a la compresión simple de probetas de suelo + 5, 10 y 15% de Cal Hidratada.

Figura 20 Probeta de suelo + Cal Hidratada sometida a resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Resistencia a la compresión simple del suelo + 5,10 y 15% Cal.

Resultados del ensaye de resistencia a la compresión Simple						
N° de probetas	Edad (días)	Carga (Lbs/f)	Área Cilindro (pulg²)	Resistencia S=P/A		
				Kg/cm²	Lbs/pulg	N/mm²
Suelo + 5% Cal hidratada						
3	7	533.33	12.5664	2.9839	42.4410	0.2926
3	14	833.33	12.5664	4.6623	66.3141	0.4572
3	21	1050	12.5664	5.8746	83.5561	0.5761
Suelo + 10% Cal hidratada						
3	7	583.33	12.5664	3.2636	46.4198	0.3201
3	14	886.67	12.5664	4.9608	70.5588	0.4865
3	21	953.33	12.5664	5.3337	75.8634	0.5231
Suelo + 15% Cal hidratada						
3	7	1093.33	12.5664	6.1170	87.0042	0.5999
3	14	1226.67	12.5664	6.8630	97.6151	0.6730
3	21	1410	12.5664	7.8887	112.2040	0.7736

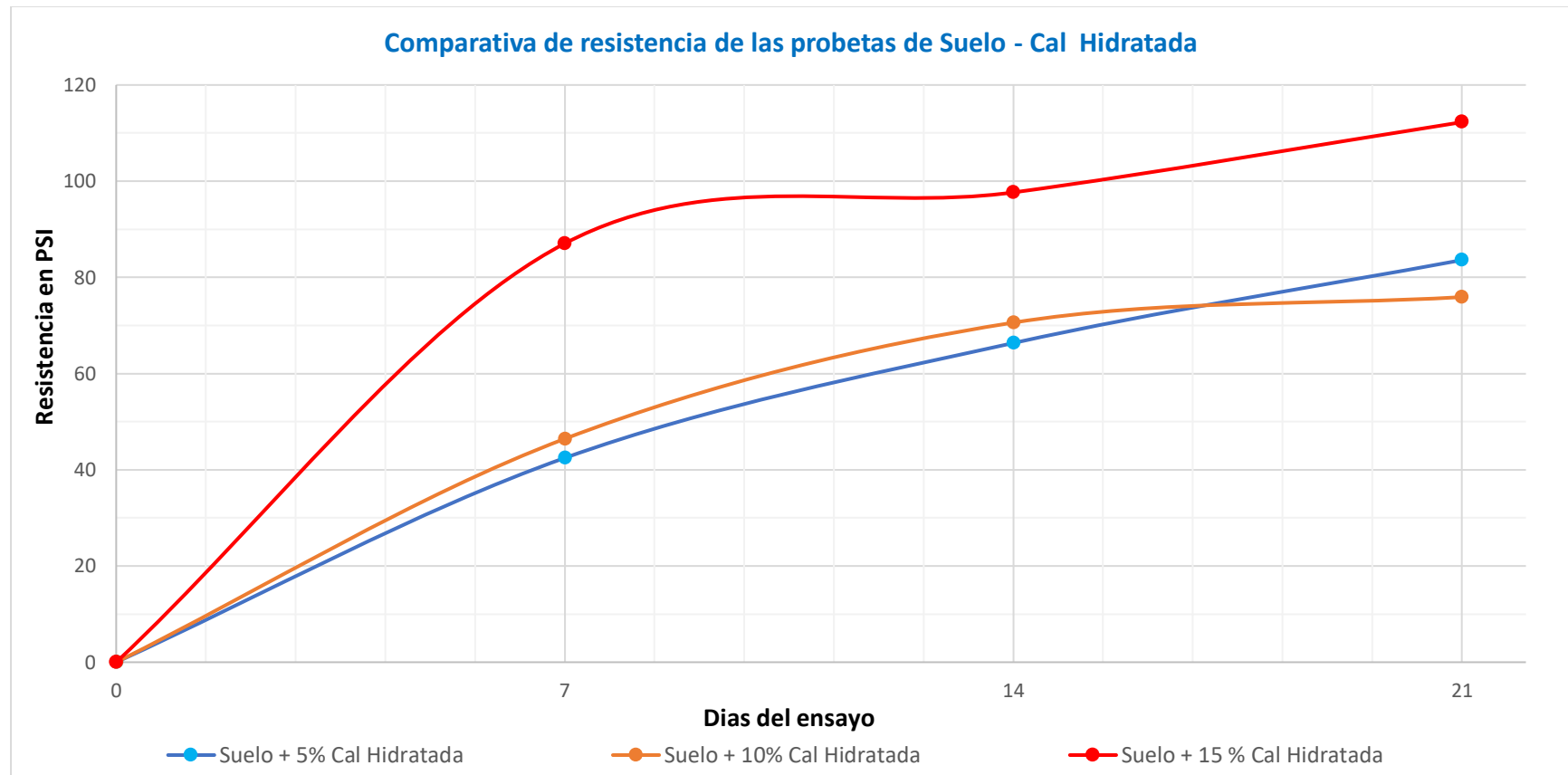
Fuente: Elaboración propia

Donde S: Resistencia a la compresión

P: Carga máxima

A: área

Gráfica 7 Comportamiento de la resistencia a la compresión del suelo-cal



Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en la gráfica 7 que el suelo + 15% Cal Hidratada es el que presenta mejor comportamiento, llegando a una resistencia a la compresión a los 21 días de 112.2040 PSI.

5.4 Estabilización de suelo natural con cemento GU

Para el proceso de estabilización del suelo natural con cemento GU se tomó como referencia la norma española **UNE 41410:2008** que establece en el apartado 5.5.1 (ver norma en anexo 1) que para la fabricación de BTC el porcentaje de estabilizante debe ser menor o igual al 15%, es por ello por lo que para este estudio se propusieron ocupar los porcentajes del 5, 10 y 15% de cemento GU.

Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado con Cemento GU, para esto se emplearon los procedimientos establecidos por las normas **ASTM**. Los ensayos efectuados son detallados a continuación:

5.4.1 Límites de consistencia

Para la determinación del límite líquido, plástico y el índice de plasticidad del suelo estabilizado con Cemento GU, se realizaron los procedimientos de los ensayos mediante la norma **ASTM D 4318**.

Los procedimientos y consideraciones que se ocuparon para la determinación de los límites de consistencia del suelo estabilizado con cemento GU son idénticos a los efectuados para la estabilización de suelo con Cal Hidratada con sus distintos porcentajes.

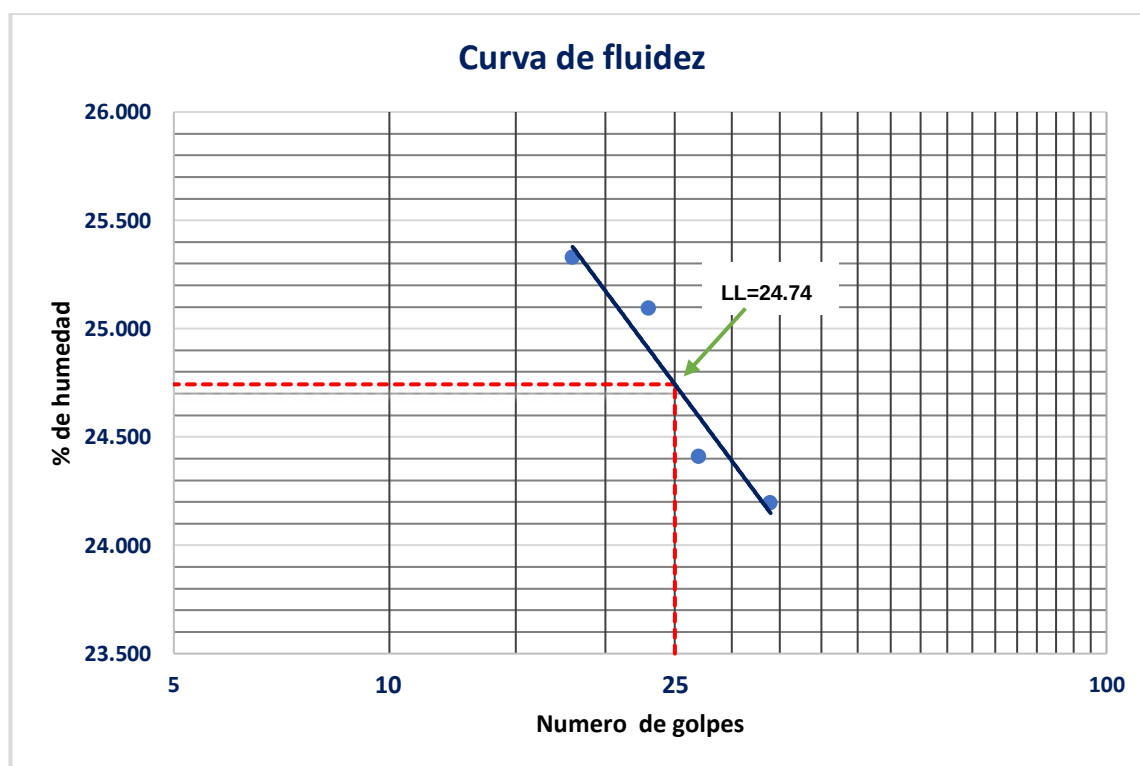
El procedimiento de cálculo para determinar los límites de consistencia para el suelo estabilizado con Cemento GU según sus porcentajes (5,10 y 15%) es igual al que se determinó con el suelo en estado natural y el suelo estabilizado con Cal Hidratada. A continuación, se muestran en la tabla 28 los datos obtenidos para el ensaye del Suelo + 5% Cemento GU:

Tabla 28 Límite líquido del suelo + 5% Cemento GU.

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de golpes	18	23	27	34
Tara N°	A-03	J-03	H-9	A-61
Peso de tara (gr)	22	21.4	21.8	22
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	60.1	55.3	53.4	60.5
Peso de muestra seca más tara (grs)	52.4	48.5	47.2	53
Peso de agua (grs)	7.7	6.8	6.2	7.5
peso seco (grs)	30.4	27.1	25.4	31
Contenido de humedad (%)	25.329	25.092	24.409	24.194

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 8 Curva de fluidez del suelo + 5% Cemento GU.



Fuente: Elaboración propia

El valor del Límite líquido (24.74) del suelo + 5% cemento GU, es el valor del contenido de agua correspondiente a la intersección de 25 golpes gráficamente (gráfica 8).

Tabla 29 Límite plástico del Suelo + 5% Cemento GU.

Ensayo N°	1	2
Tara N°	H-1	LS-7
Peso de tara (g)	21.8	21.5
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	59.7	64.7
Peso de muestra seca más tara (grs)	54.2	58.9
Peso de agua (grs)	5.5	5.8
peso seco (grs)	32.4	37.4
Contenido de humedad (%)	16.975	15.508
Límite plástico (%)	16.242	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Índice de plasticidad del Suelo + 5% Cemento GU.

IP	8.498
-----------	-------

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de los límites de consistencia del Suelo + 10 y 15% de Cemento GU solo se reflejan los valores obtenidos del LL, LP y IP en la tabla 31, esto debido a que el proceso es repetitivo, los datos obtenidos del ensaye, tablas y curva de fluidez se aprecian en el anexo 4 y 5.

Análisis e interpretación de resultados

Según los procedimientos de la norma **ASTM D 4318**, se pudieron determinar los límites de consistencia del Suelo + 5, 10 y 15 % de Cemento GU, estos reflejados en la tabla 31:

Tabla 31 Resultado de los límites de consistencia del Suelo + 5,10 y 15% Cemento GU.

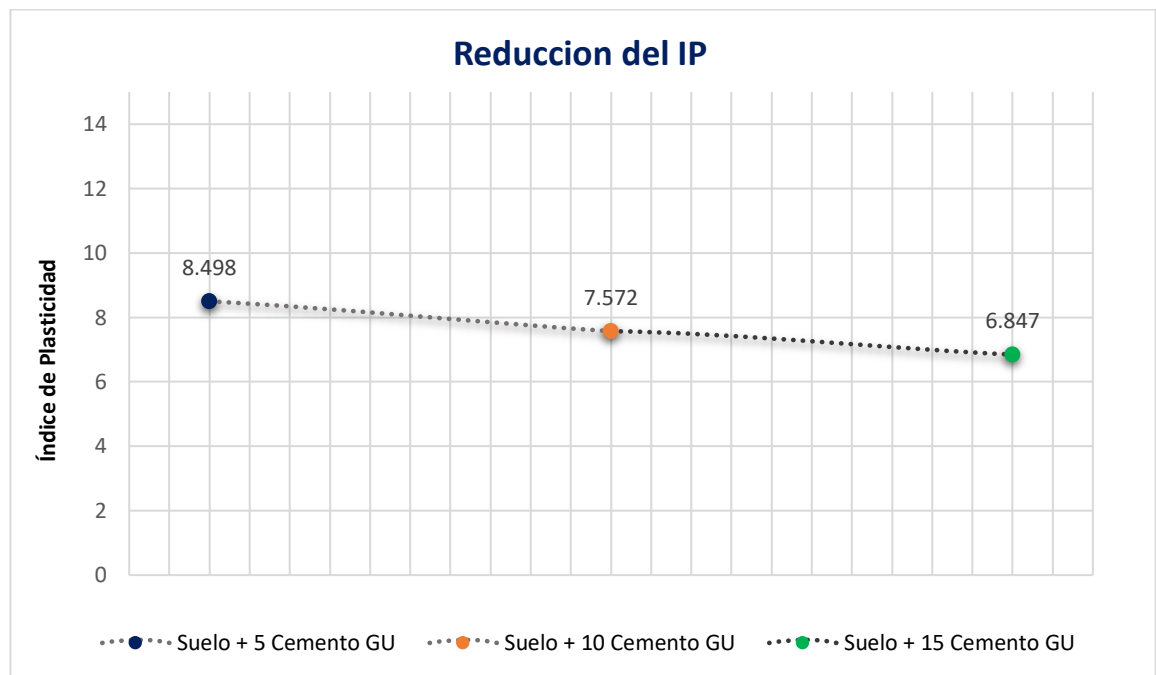
Material	LL	LP	IP
Suelo + 5% Cemento GU	24.74	16.242	8.498
Suelo + 10% Cemento GU	25.54	17.968	7.572
Suelo + 15% Cemento GU	26.1	19.253	6.847

Donde: LL = Límite líquido, LP = Límite plástico y IP = Índice de plasticidad

Fuente: Elaboración propia

Como se logra apreciar en la tabla 31 y la gráfica 9, el comportamiento del IP es de manera descendente, esto haciendo que el suelo perdiera plasticidad, el porcentaje de estabilizante que tuvo más reducción del IP fue el 15% Cemento GU, logrando reducir el IP = 6.847.

Gráfica 9 Comportamiento del IP según el suelo + 5,10 y 15% de Cemento GU.



Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Resistencia a la compresión de probetas de suelo – cemento GU

Basándonos en las consideraciones que se efectuaron en el ensaye de resistencia a la compresión del suelo con cal hidratada con sus correspondientes porcentajes, se fabricaron 27 probetas de las cuales se pudo determinar la resistencia a la compresión que ofrece el suelo + 5,10 y 15% de cemento GU cuando no está sometido a confinamiento.

Para la fabricación de las probetas de suelo + 5,10 y 15% de cemento GU, se tomaron los mismos procedimientos que se ocupó para la fabricación de las probetas de suelo con Cal Hidratada con sus correspondientes porcentajes.

En total se fabricaron 27 probetas que se ensayaron 9 a los 7, 14 y 21 días correspondiente a la fecha de su elaboración.

Para el proceso de secado y el ensaye de resistencia a la compresión simple de las probetas de suelo + 5, 10 y 15% de cemento GU se realizó bajo los requerimientos que estipulan las normas **ASTM D 2166** y **ASTM C 123**. Las cuales se ocuparon y detallaron con las probetas de suelo natural y suelo estabilizado con Cal Hidratada.

Figura 21 Probetas de suelo + 5, 10 y 15% cemento GU.



Fuente: Elaboración propia

Dando continuidad a lo antes mencionado se presentan imágenes de probetas de suelo-cemento y tabla de resultados del ensaye de resistencia a la compresión simple de probetas de suelo + 5, 10 y 15% de cemento GU.

Figura 22 Probeta de suelo + cemento GU sometida a resistencia a la compresión.



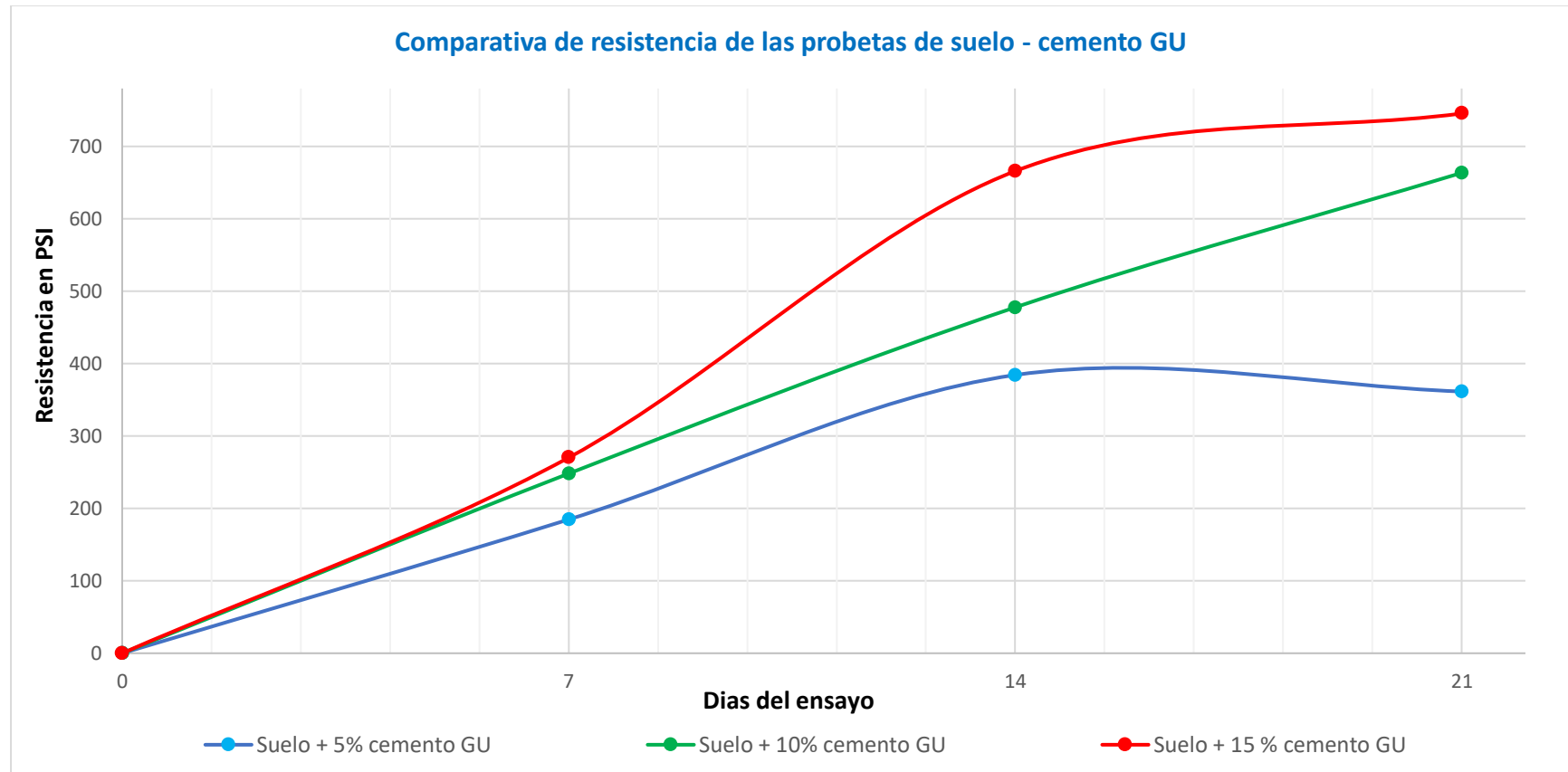
Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Resistencia a la Compresión Simple del suelo + 5,10 y 15% cemento GU.

Resultados Ensaye de Compresión Simple						
N° de probetas	Edad (días)	Carga (Lbs/f)	Área Cilindro (pulg²)	Resistencia S=P/A		
				Kg/cm²	Lbs/pulg	N/mm²
Suelo + 5% Cemento Tipo GU						
3	7	2320	12.5664	12.9800	184.6193	1.2729
3	14	4826.67	12.5664	27.0044	384.0933	2.6482
3	21	4540	12.5664	25.4006	361.2809	2.4909
Suelo + 10% Cemento Tipo GU						
3	7	3116.68	12.5664	17.4373	248.0169	1.7100
3	14	6000	12.5664	33.5690	477.4637	3.2920
3	21	8333.33	12.5664	46.6236	663.1438	4.5722
Suelo + 15% Cemento Tipo GU						
3	7	3393.33	12.5664	18.9851	270.0320	1.8618
3	14	8363.33	12.5664	46.7915	665.5311	4.5887
3	21	9363.333	12.5664	52.3864	745.1086	5.1373

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 10 Comportamiento de la resistencia a la compresión del suelo-cemento.



Fuente: Elaboración propia

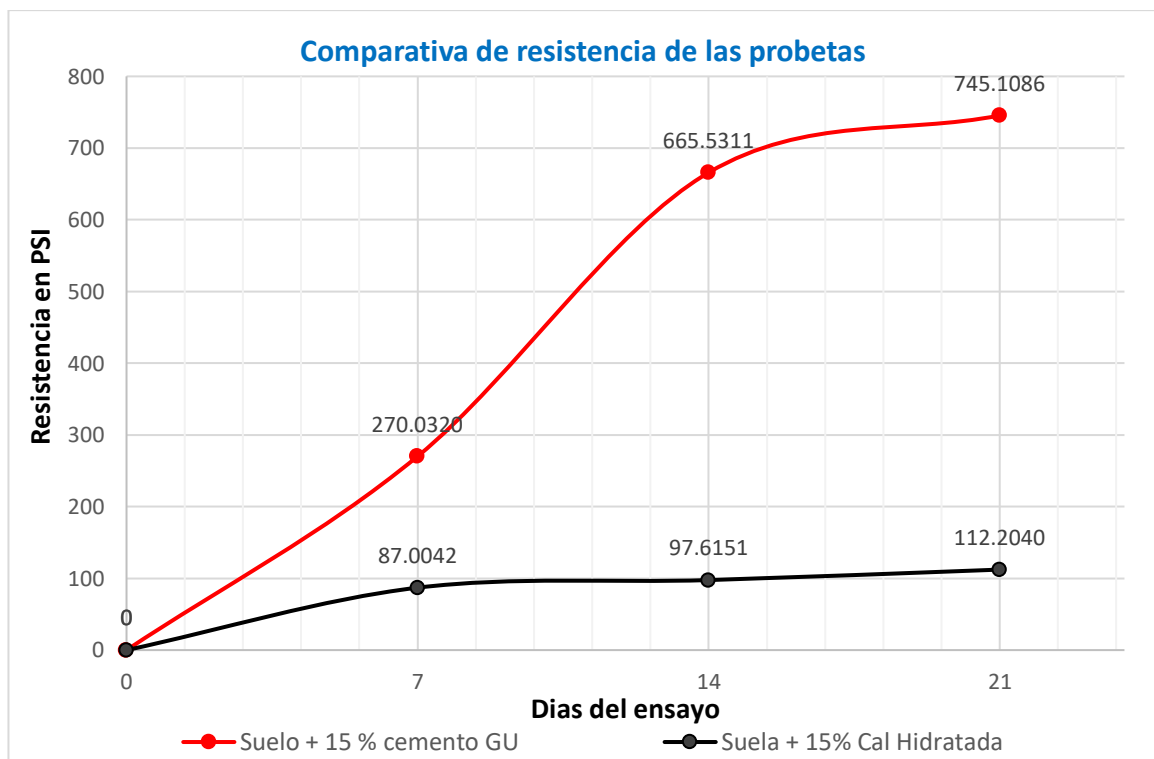
Podemos observar en la tabla 32 y la gráfica 10 que el suelo + 15% cemento GU es quien presenta el mejor comportamiento, llegando a una resistencia a la compresión a los 21 días de 745.1086 PSI.

5.5 Determinación de la dosificación óptima

Tras evaluar y discutir los resultados obtenidos de los ensayos realizados donde se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural, suelo – cal y suelo – cemento, definimos lo siguiente:

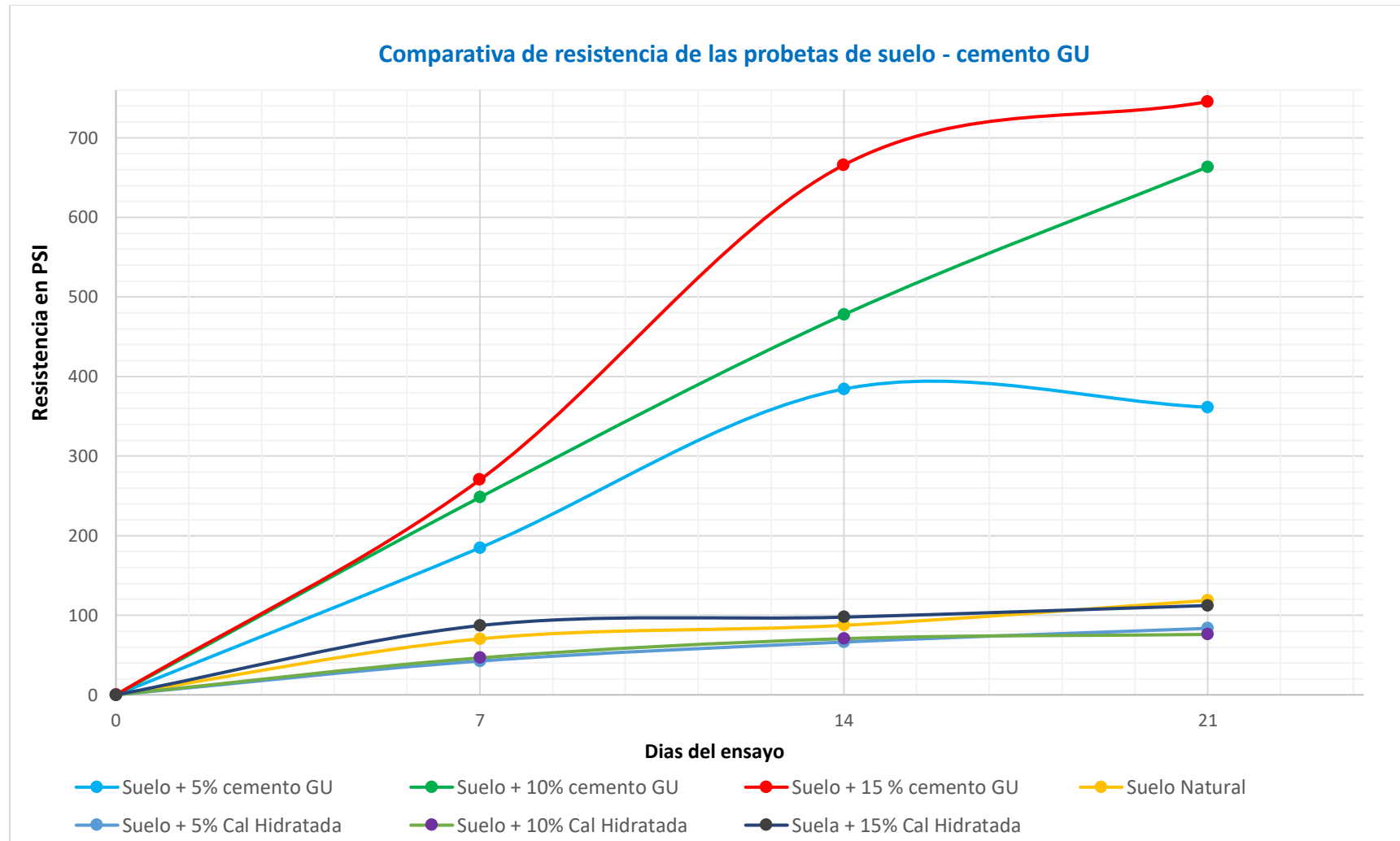
- Según la resistencia a la compresión simple de cada probeta ensayada se definió; que las probetas a las que se le agregó el 15% de cemento GU presentan una resistencia media a la compresión superior a los obtenidos con el 15% de cal hidratada y los resultados obtenidos del suelo natural, estos datos están representados en las gráficas 11 y 12.

Gráfica 11 Resistencia a la compresión del Suelo + 15% Cal y Suelo + 15% cemento.



Fuente: Elaboración propia

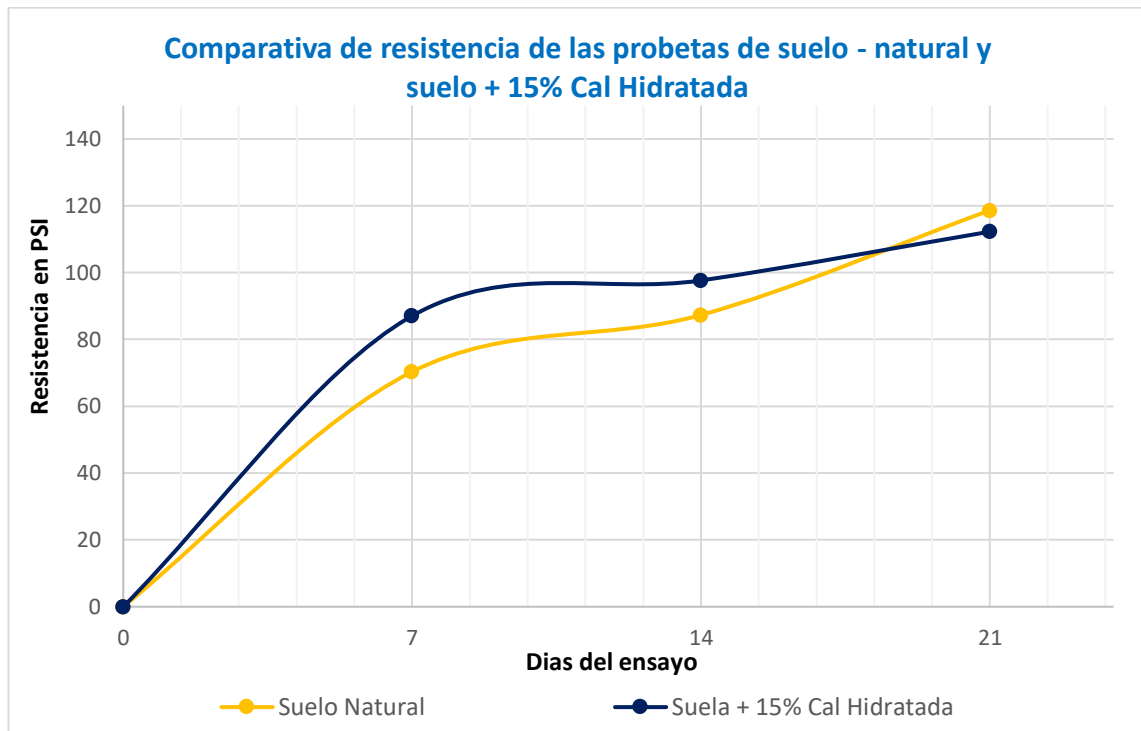
Gráfica 12 Resistencia a la compresión del suelo natural, suelo-cal y suelo-cemento.



Fuente: Elaboración propia

- Podemos observar en la gráfica 13 que las probetas no estabilizadas presentan un comportamiento similar a las estabilizadas con cal hidratada esta última con el 15% respectivamente, esto se debe a que este estabilizante como tal no aporta resistencia al elemento.

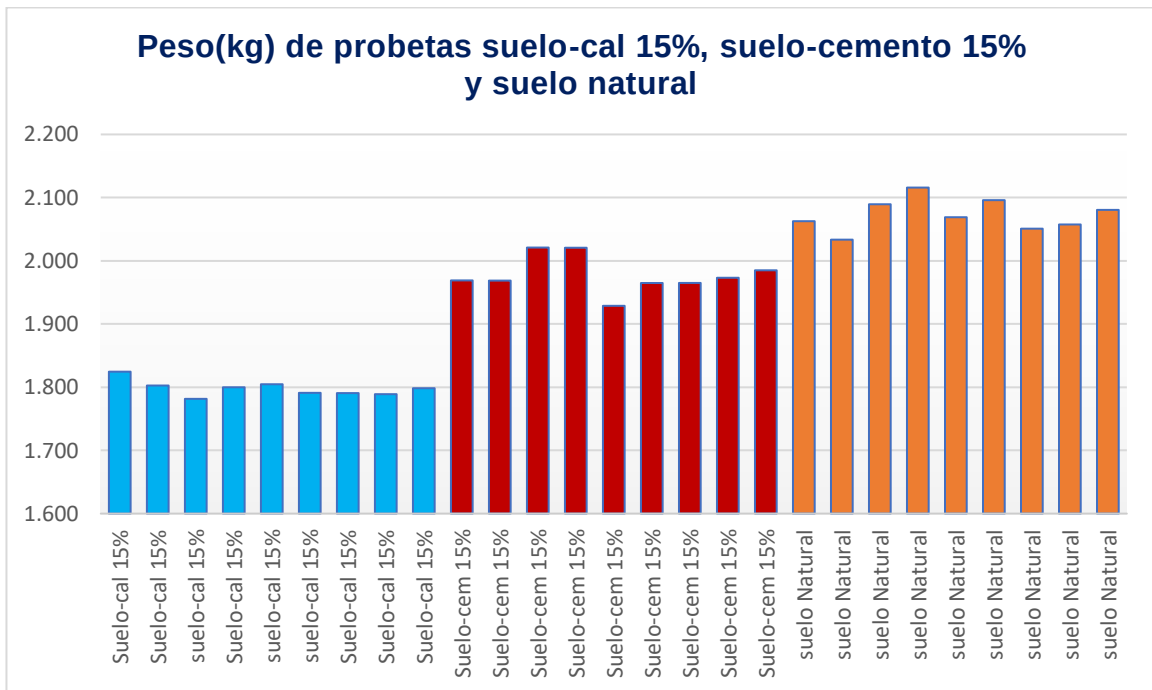
Gráfica 13 Resistencia a la compresión de Suelo-Cal y Suelo-natural a los 7, 14 y 21 días.



Fuente: Elaboración propia

- Otro dato para destacar es el peso de las probetas, esto debido a que las probetas de suelo natural en comparación con las de suelo-cal y suelo-cemento al 15% son más pesadas, esto debido a que la densidad de los estabilizantes es visiblemente menor que la del suelo natural, este comportamiento se puede apreciar mediante los datos de la gráfica 14.

Gráfica 14 Peso de las probetas de suelo-cal 15%, suelo-cemento15% y suelo-natural



Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de compresión simple de las 63 probetas fabricadas (27 de suelo + Cal Hidratada, 27 de suelo + cemento GU y 9 de suelo natural), se definió que:

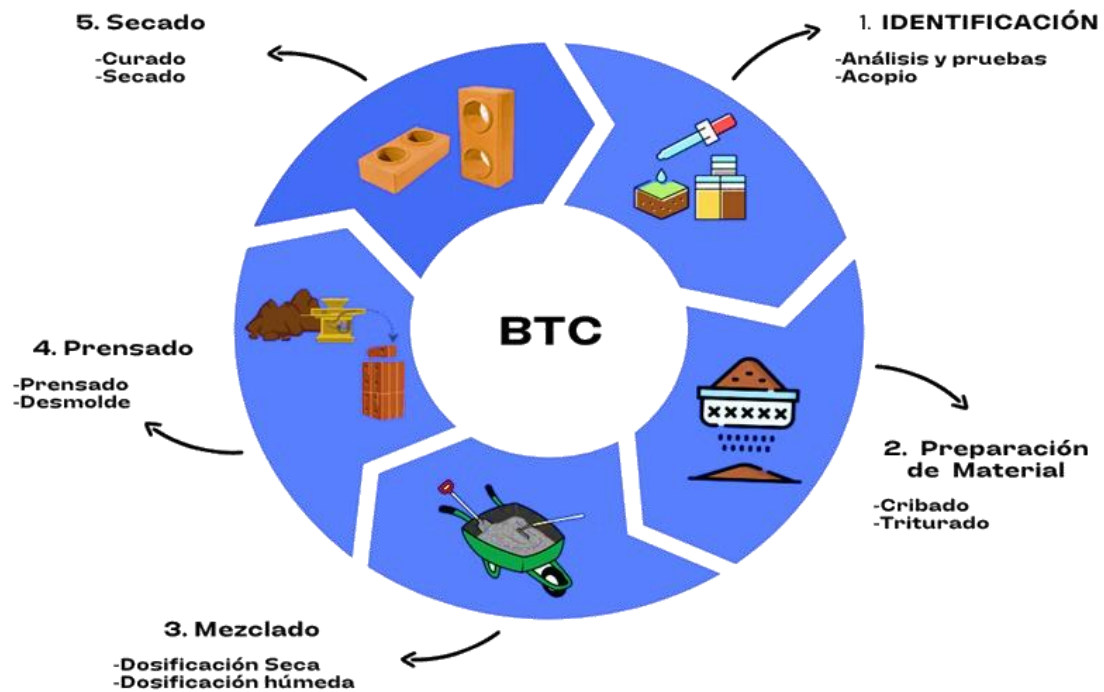
- Para el proceso de estabilización de suelo, para la fabricación de Bloques de tierra comprimida (BTC) optamos por el 15% de cada estabilizante (Cal Hidratada y Cemento GU) esto debido a que con este porcentaje se obtuvieron los mejores resultados a la resistencia a la compresión; Suelo + 15% Cal Hidratada (112.2040 PSI) y Suelo + 15% cemento GU (745.1086PSI).

Esta selección se sustentó fundamentalmente en los valores que establece el apartado 5.6 de la norma española UNE-EN 772-1:2002 (ver norma en el anexo 1) donde muestra los valores mínimos a la resistencia a la compresión que van desde 1.3 N/mm² (188.549 PSI) hasta 5 N/mm² (725.19 PSI).

5.6 Proceso de fabricación de los BTC.

Los bloques de tierra comprimida (BTC) se fabricaron bajo el proceso que se refleja en la figura 23. Este proceso se ocupó para la fabricación de los BTC de suelo natural, suelo + 15% Cal Hidratada y suelo + 15% cemento GU.

Figura 23 Proceso de fabricación Bloques de Tierra Comprimida (BTC).



Fuente: Elaboración propia.

Preparación del material

Las operaciones para llevar a cabo la preparación del suelo dependerán de las características de este, pudiendo ser necesarios diversos equipos o sólo algunos de ellos, como son: Trituradora, pulverizadora y/o criba, así como maquinaria diversa de movimiento de tierras que pueda facilitar el trabajo y mejorar el rendimiento productivo.

En nuestro caso al ser una Arena Arcillosa con Grava no presenta material sobre tamaño, por lo que se trató de obtener un tamaño de grano adecuado del suelo que permita realizar las siguientes fases de mezclado y prensado, dando lugar a un bloque de calidad. Se cribó todo el material, utilizando todo aquel que pase por el tamiz No. 4 (aberturas 4.75mm) para la fabricación de los BTC.

Figura 24 Sondeo manual y cribado de material.



Fuente: Elaboración propia.

Mezclado del material

Esta fase de producción se realiza en dos etapas, la mezcla seca, y la mezcla húmeda:

Mezcla seca: Es donde se incorporan los demás componentes que conforman el BTC (suelo, aglomerantes (cal o cemento en diferentes proporciones)). Antes de iniciar la mezcla en seco se debe preparar el lugar limpiándose para que el material no se contamine y de preferencia escoger un lugar impermeable para evitar que absorba el agua de la mezcla. El mezclado se deberá hacerse hasta que se obtenga un material homogéneo ver figura 25.

Figura 25 Mezcla en seco para fabricar BTC.



Fuente: Elaboración propia.

Mezcla húmeda: Es la que se incorpora el agua en la cantidad adecuada y de manera uniforme. El agua se agrega poco a poco hasta lograr una mezcla homogénea. Al incorporar el agua las arcillas se adhieren mejor y se activa la reacción del cemento ver figura 26.

Figura 26 Mezcla húmeda para fabricar BTC.



Fuente: Elaboración propia.

Para la fase de mezclado en esta investigación se ocupó la cantidad de material reflejado en la tabla 33, esta cantidad se ocupó para la fabricación de 36 BTC (12 de suelo natural, 12 de Suelo + 15% Cal Hidratada y 12 de suelo + 15% cemento GU).

Tabla 33 Cantidad material para la fabricación de BTC

N°	Diseño de mezcla	Cantidad de BTC	Peso Suelo Natural (kg)	Peso cemento (kg)	Peso Cal Hidratada (kg)	% w mezcla	Cantidad de agua (Lt)
1	Suelo Natural	12	88	-	-	8.5	7.48
2	Suelo + 15% cemento GU	12	84	12.6	-	9.5	7.98
3	Suelo + 15% cal hidratada	12	79	-	11.85	9.5	7.71
Total		36	251	12.6	11.85	27.5	23.17

Fuente: Elaboración propia.

Para la fabricación de los BTC se ocupó un total de 7 kg de material por cada unidad.

Para los 12 BTC de suelo natural se requerían 84 Kg de material, se consideraron 4 kg de desperdicio.

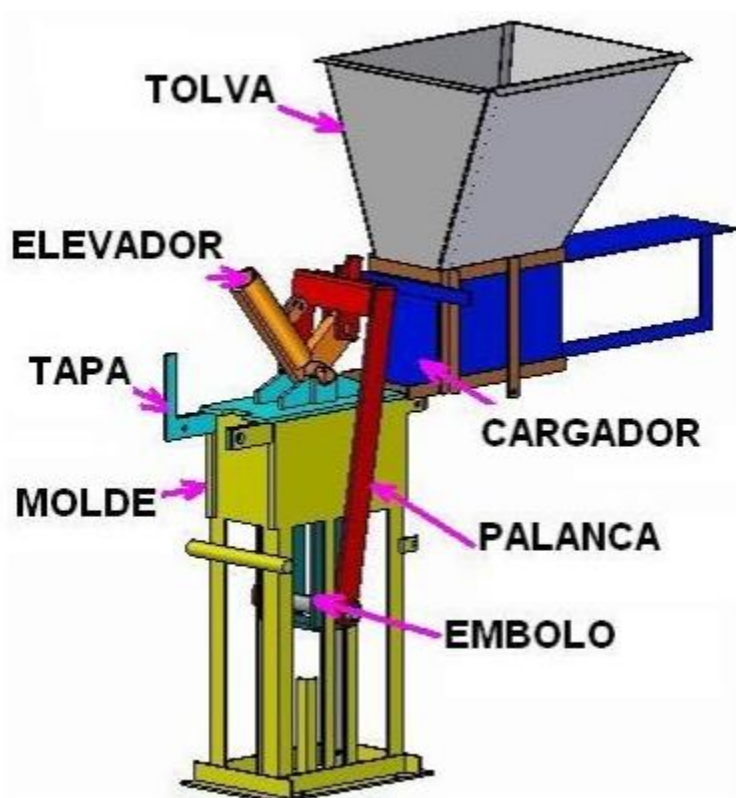
Para la fabricación de los 12 BTC de suelo + 15% cemento GU, se consideró el peso del suelo natural (84 kg) más el peso del 15% de cemento GU (9.5 kg) este en función del peso del suelo natural, esto dando un peso de mezcla de 93.5 kg, superando el total de peso que se ocupó para la fabricación de los 12 BTC de suelo natural. Es por esta razón que se decidió reducir la cantidad de material de suelo natural.

Esta misma consideración se hizo para los 12 BTC de suelo + 15% de Cal Hidratada, en este caso se aprecia mejor la reducción de peso de suelo natural (79 kg) para la mezcla. Cabe mencionar que el %w es calculado en función del peso del suelo natural, sin el peso del estabilizante, se consideró sumarle 1% al %w, esto para la mezcla de cada estabilizante ver tabla 33.

Prensado del BTC

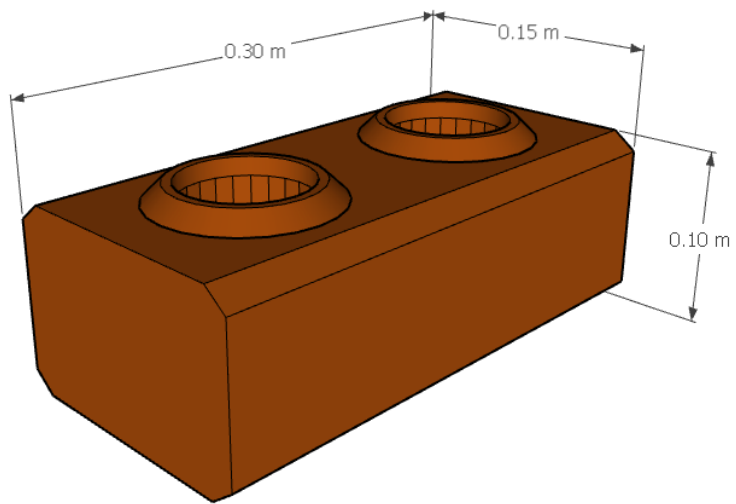
Para fabricar el bloque se usó una prensa manual modelo, Cinva Ram (figura 27), por medio de la cual se obtienen bloques de perforación vertical con dimensiones de 0.3 x 0.15 x 0.10 m de largo, ancho y alto a como se refleja en la figura 28. Cabe señalar que este tipo de fabricación de bloques de tierra comprimida se considera artesanal.

Figura 27 Maquina Cinva RAM



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28 Dimensiones del BTC



Fuente: Elaboración propia.

La compresión de la mezcla compuesta por suelo natural y aglomerante es la operación principal del proceso productivo de los BTC, para tener un control en el tamaño de los bloques usar siempre el cajón de medida y llenarlo siempre al mismo nivel, ver proceso de prensado en la figura 29.

Figura 29 Prensado de los BTC.



Fuente: Elaboración propia.

Secado de los BTC

La fase de secado tiene una especial incidencia en la calidad final de los bloques, por lo que debe realizarse de manera controlada, se dividen en dos etapas:

- Periodo de curado (si se incorporan aglomerantes para la estabilización del suelo).
- Periodo de secado; en cualquier caso, se trata de evitar un secado demasiado rápido (por lo que hay que mantenerlos en resguardo del sol y del viento) ya que se producirían fisuras de retracción, lo que afectaría a la resistencia final de los bloques.

Figura 30 Curado y secado de los BTC



Fuente: Elaboración propia.

Los bloques producidos se van colocando en filas, con una pequeña separación entre ellos para ventilación, identificándolos y cubriéndose con un plástico de color oscuro para mantener la temperatura y humedad más elevadas (en caso de empleo de aglomerantes).

Es importante colocarlos de tal manera que se facilite su recuento rápido (figura 31), lo que posibilita un mejor control de la productividad y de las cantidades de componentes empleados.

Figura 31 Colocación de los BTC.



Fuente: Elaboración propia.

5.6.1 Resistencia a la compresión de los BTC

Para el ensaye de los BTC de suelo natural, suelo + 15% Cal Hidratada y de suelo + 15% cemento GU, utilizamos de referencia la norma **ASTM D 2166** y la **ASTM C1231**.

Los ensayos de resistencia a la compresión fueron llevados a cabo en el laboratorio de materiales ubicado en UNI-RUPAP, en una máquina para pruebas de compresión, marca ELE internacional, modelo # 36-0650/02, con capacidad de 250,000 lb/f. (1,112 kN).

Los BTC fueron sometidos a la prueba seleccionando a opción de “Bloques de baja resistencia” para medidas de 16x4x8 in, con una compresión inicial de 800 lb/in².

Este ensaye se basó en la colocación de una almohadilla de neopreno echa a la meda de los BTC, estas se colocaron en la parte superior de los BTC a como lo muestra la figura 32, siempre verificando que esta no tuviera grietas o desgastes considerables como describe la normativa **ASTM C1231**. Los BTC se alineó al eje central con la almohadilla, el retenedor y la cabeza de la máquina de ensayo a como establece la norma **ASTM D 2166**, obteniendo así los resultados de la tabla 34.

Figura 32 Plantilla de Neopreno utilizada en el ensayo de resistencia a la compresión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33 BTC sometidos a ensaye de resistencia a la compresión.



BTC Suelo – Cal Hidratada

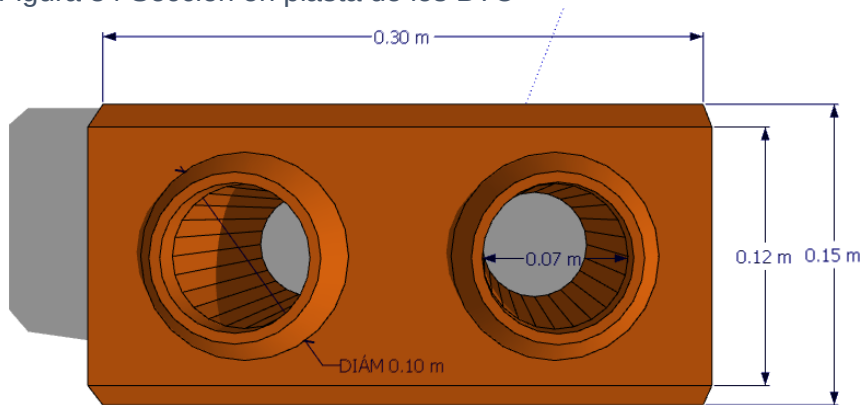
BTC Suelo Natural

BTC Suelo – Cemento GU

Fuente: Elaboración propia

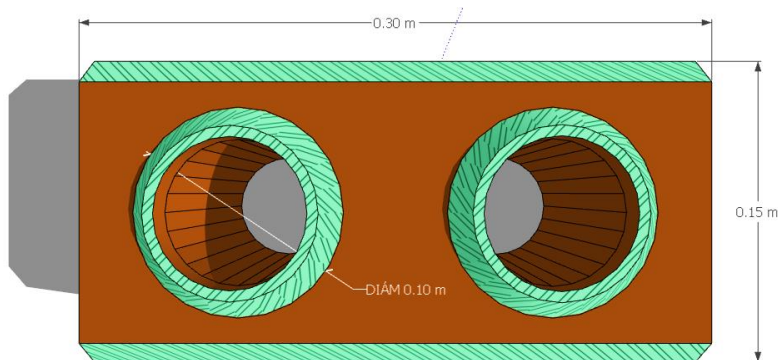
Como podemos observar en la figura 32 la almohadilla de neopreno para el ensaye de resistencia a la compresión simple de los BTC no cubre toda el área en planta de los BTC, esto debido a que tienen biseles y esta área no se considera para el ensayo, es por ello por lo que se calculó el are de contacto de la almohadilla donde se distribuyó toda la carga aplicada en el ensayo, esto se puedo apreciar en las figuras 34, 35 y 36.

Figura 34 Sección en planta de los BTC



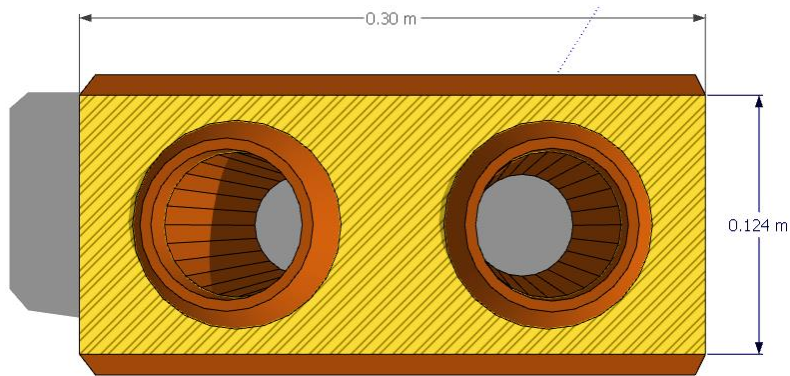
Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Sección de biseles



Fuente: Elaboración propia

Figura 36 Sección efectiva donde se distribuye la carga.



Fuente: Elaboración propia

- Cálculo del área efectiva de los BTC:

$$\text{Área de contacto} = (0.124 \text{ m} * 0.3 \text{ m}) - \left(\left(\pi * \frac{(0.1 \text{ m})^2}{4} \right) * 2 \right)$$

$$\text{Área de contacto} = 0.0215 \text{ m}^2 = \mathbf{33.33 \text{ in}^2}$$

Está siendo el área efectiva que se ocupó para calcular la resistencia a la compresión de los BTC.

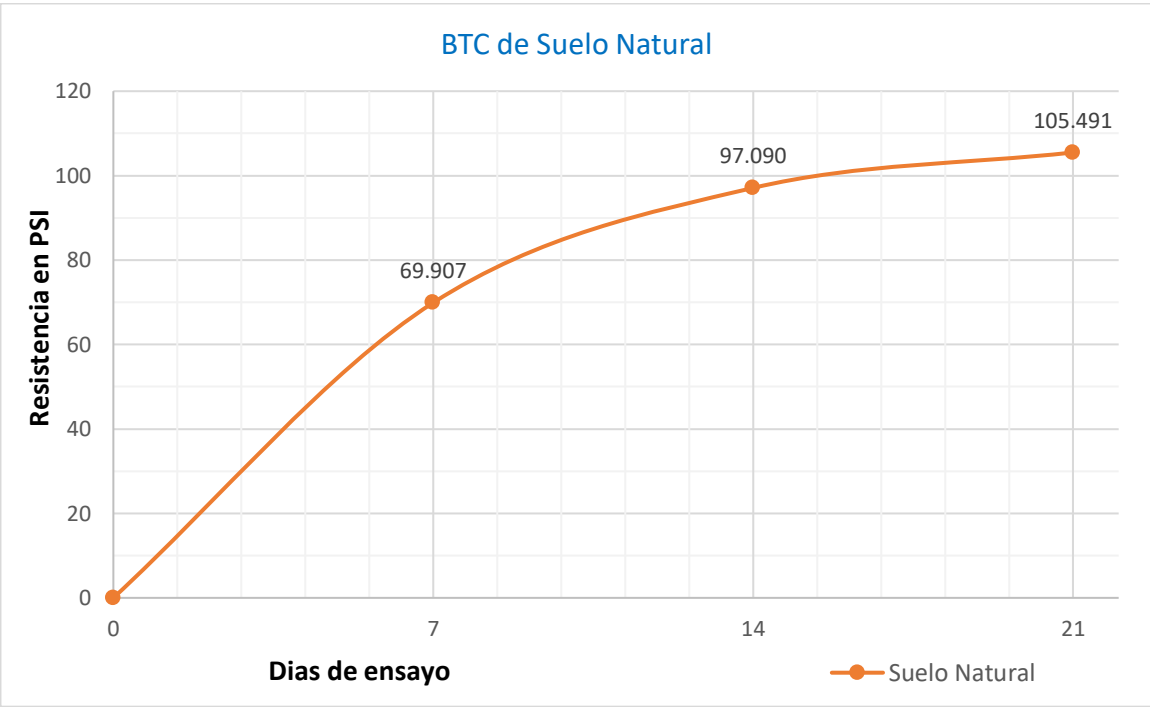
Tabla 34 Resistencia a la compresión bloques de tierra comprimida (BTC).

Resistencia a la compresión bloques de tierra comprimida (BTC)									
N°	N° BTC Fabricados	Fecha de fabricación	%w	Peso kg	Edad en días	Área del BTC (in²)	Carga (Lbs/f)	Resistencia a la compresión (lb/in²)	Resistencia a la compresión (N/mm²)
Suelo Natural									
1	3	06/02/2023	8.5	7.20	7	33.33	2330.00	69.907	0.482
2	3	06/02/2023	8.5	7.18	14	33.33	3236.00	97.090	0.669
3	3	06/02/2023	8.5	7.19	21	33.33	3516.00	105.491	0.727
Suelo + 15 % Cal Hidratada									
4	3	09/02/2023	9.5	7.16	7	33.33	2613.00	78.398	0.541
5	3	09/02/2023	9.5	7.60	14	33.33	5023.00	150.705	1.039
6	3	09/02/2023	9.5	7.54	21	33.33	6280.00	188.419	1.299
Suelo + 15% Cemento GU									
7	3	07/02/2023	9.5	7.73	7	33.33	18290.00	548.755	3.784
8	3	07/02/2023	9.5	7.56	14	33.33	24600.00	738.074	5.089
9	3	07/02/2023	9.5	7.58	21	33.33	31603.00	948.185	6.538

Fuente: Elaboración propia.

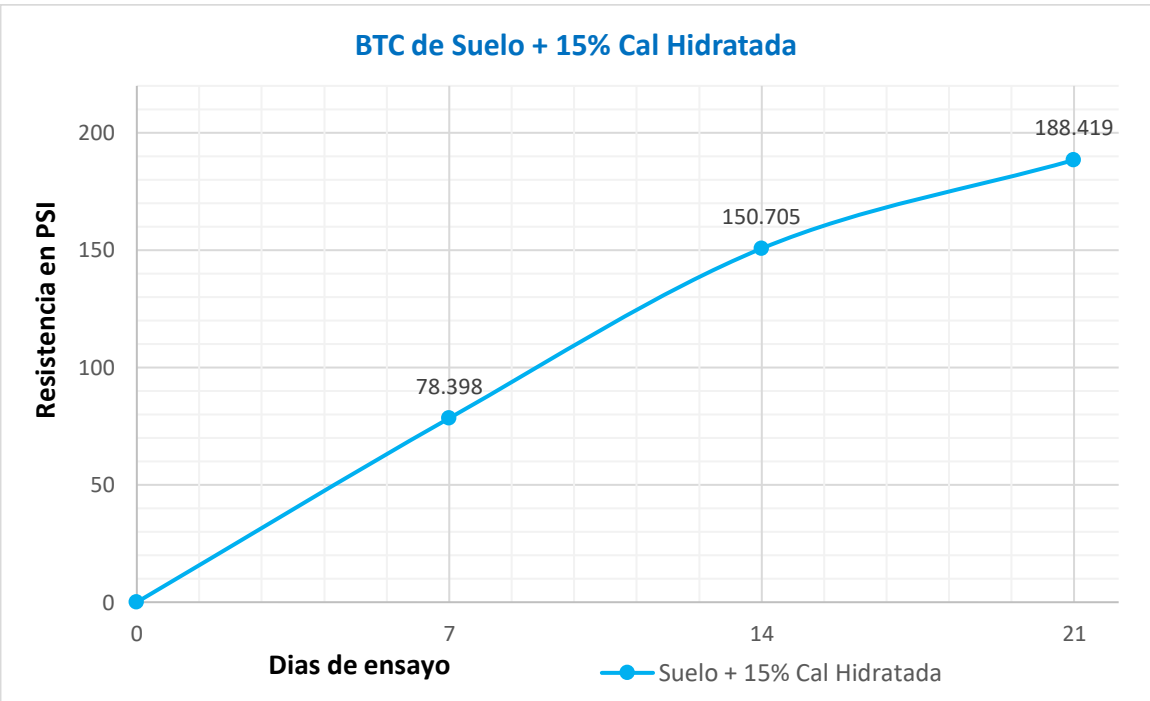
Al finalizar los ensayos de resistencia a la compresión en los bloques de tierra comprimida (BTC) podemos concluir que los BTC de suelo natural sin ningún tipo de estabilizante presentaron una resistencia a la compresión menor en comparación a los BTC que incluyen aglomerante, los BTC de suelo + 15% Cal Hidratada presentan una resistencia a la compresión mayor que los BTC sin aglomerante, pero menor que los BTC de suelo +15% de cemento GU, siendo estos los que mayor resistencia presentan, tal y como se evidencia en las gráficas 15,16,17, 18 y 19.

Gráfica 15 Resistencia a la compresión de los BTC de suelo natural.



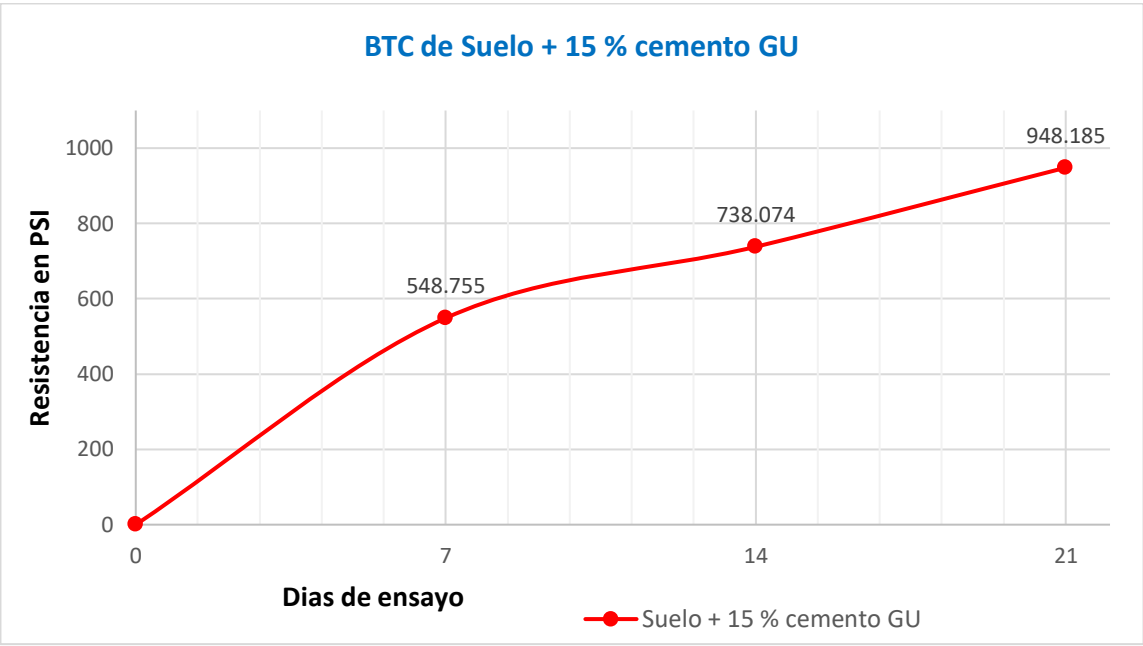
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 16 Resistencia a la compresión de los BTC de suelo + 15% Cal Hidratada.



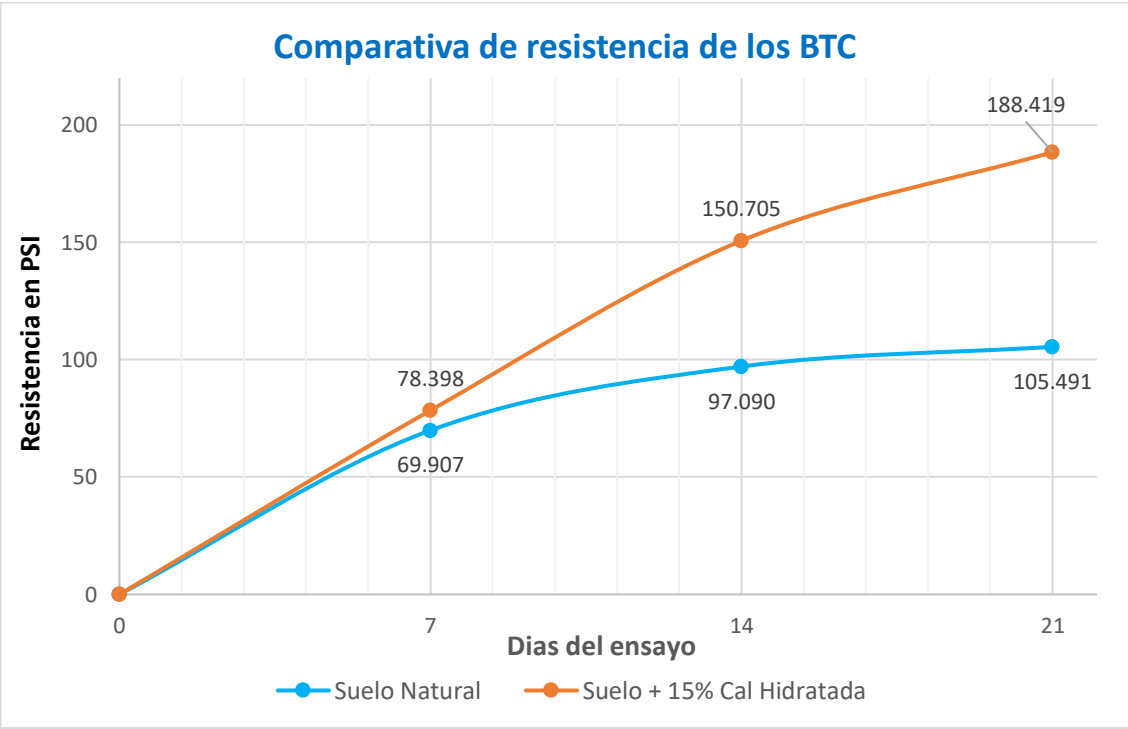
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 17 Resistencia a la compresión de los BTC de suelo + 15% cemento GU.



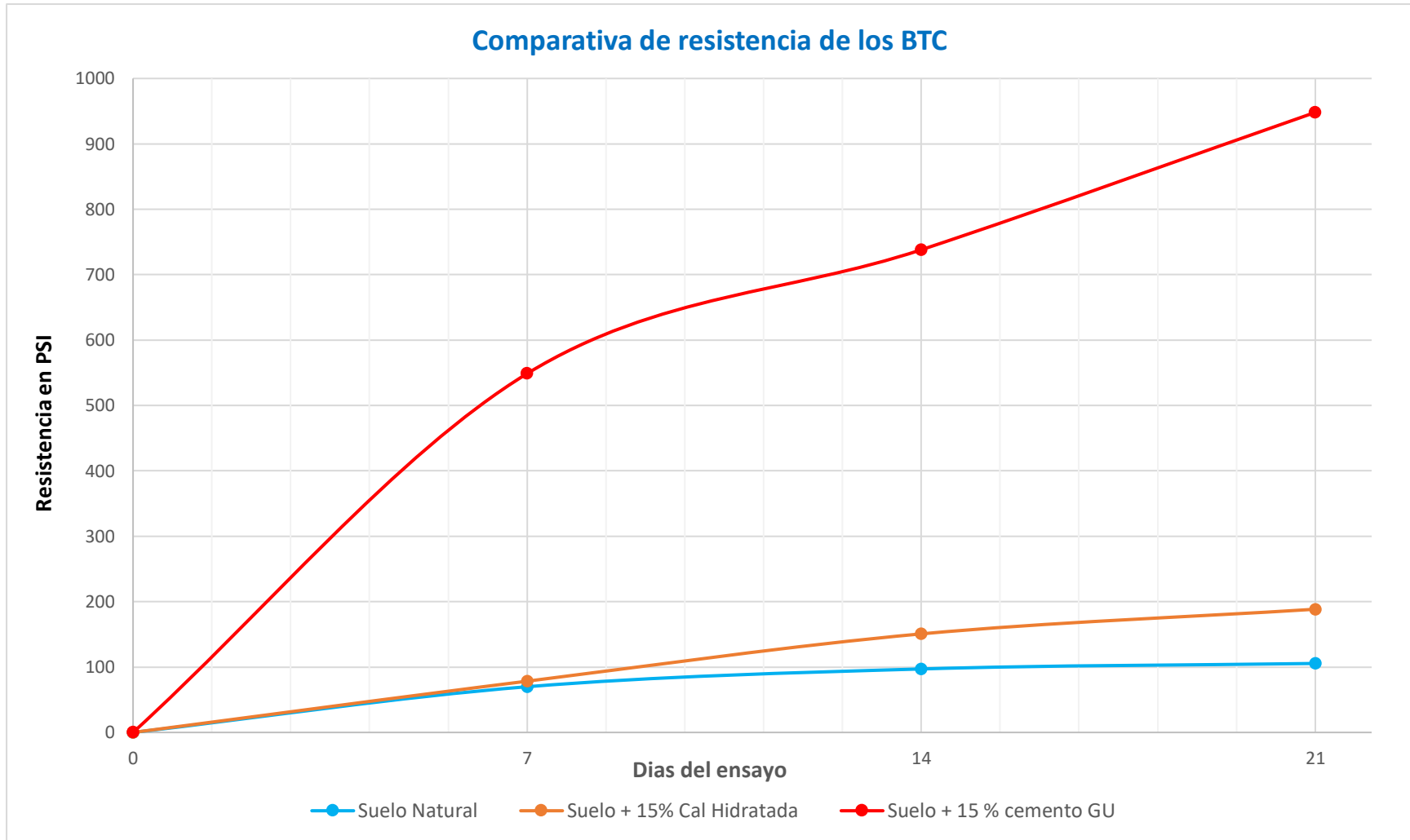
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 18 Resistencia a la compresión de los BTC de Suelo natural y Suelo + 15 Cal Hidratada.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 19 Comparativa de resistencia a la compresión de los BTC.



Fuente: Elaboración propia

Luego de haber obtenido los resultados de los ensayos realizados a los bloques de tierra comprimida (BTC) pudimos determinar la resistencia a la compresión de cada uno ellos, estos resultados nos permitieron clasificar los BTC según los requerimientos y parámetros de la norma UNE 41410-2008 (ver norma en anexo 1), que establece los valores que los BTC deben de cumplir según su resistencia a la compresión en el apartado 5.6 de dicha norma.

De acuerdo con los valores requeridos por la norma UNE 41410-2008 los bloques de tierra comprimida fabricados en este estudio se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 35 Clasificación de los BTC según norma UNE 41410-2008.

BTC	Resistencia a la compresión en PSI					
	BTC 1		BTC 3		BTC 5	
	Requerido	Obtenido	Requerido	Obtenido	Requerido	Obtenido
Suelo Natural	188.55	105.49	435.11		725.19	
Suelo + 15% Cal Hidratada	188.55	188.42	435.11		725.19	
Suelo + 15% cemento GU	188.55		435.11		725.19	948.19

Fuente: Elaboración propia

Clasificación de los BTC según su resistencia a la compresión conforme la norma UNE 41410 – 2008:

Haciendo uso de la tabla 35 podemos clasificar los BTC de suelo + 15% cemento GU como **BTC 5**, este superando en un 31% el valor de la resistencia requerida por dicha norma.

Los BTC de suelo + 15% Cal Hidratada entran en la clasificación de los BTC 1 llegando al valor de la resistencia a la compresión establecida por la norma antes citada.

Los BTC de suelo natural no entran en ninguna clasificación debido a su baja resistencia a la compresión, esto nos ayuda a determinar la importancia de los estabilizantes en la construcción de los bloques de tierra comprimida (BTC).

Figura 37 BTC fabricados y clasificados.

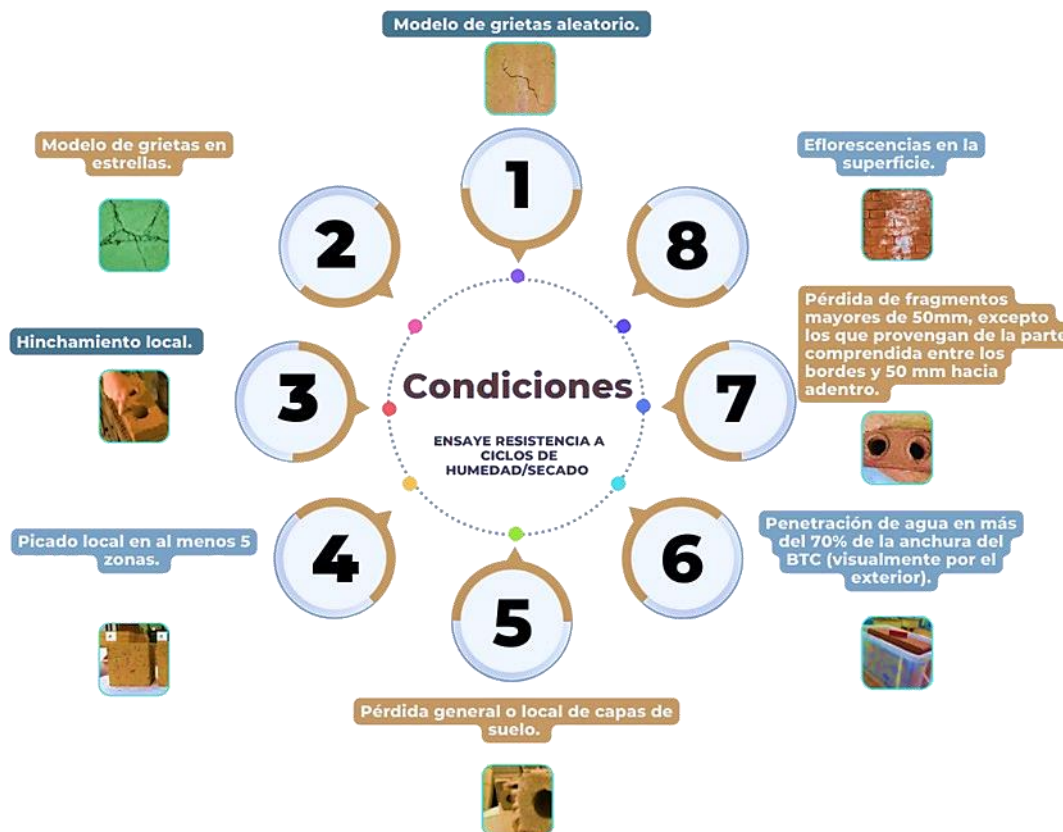


Fuente: Elaboración propia

5.6.2 Ensayo Resistencia a ciclos de humedad/secado

Este ensayo consiste en verificar que tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones mostradas en figura 38.

Figura 38 Condiciones del ensayo Resistencia a los ciclos de humedad/secado.



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento según la norma UNE 41410-2008 acápite 8.3:

Se deben tomar dos BTC enteros por cada tipo de BTC a ensayar, utilizándose uno de ellos como referencia para comparar visualmente las características que presenta el otro BTC luego de ser sometido a los diferentes ciclos de humedad/secado a como lo muestra la figura 39.

Figura 39 BTC tras un ciclo de humedad/secado



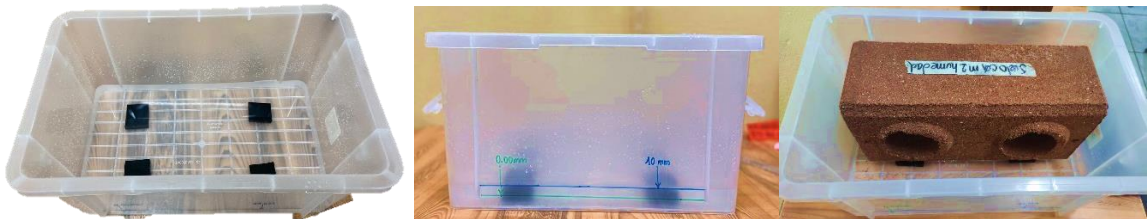
BTC de la izquierda comparativo y BTC de la derecha sometido a ciclos de humedad/secado.

Fuente: Elaboración propia

El equipo necesario para realizar el ensayo estará formado por los siguientes elementos:

- Una bandeja, de dimensiones suficientes para alojar el BTC sin que exista contacto entre ambos y capaz de contener el volumen de agua necesario para el ensayo.
- Tres piezas de apoyo de 3mm de altura (en nuestro caso utilizamos apoyos de 10 mm).

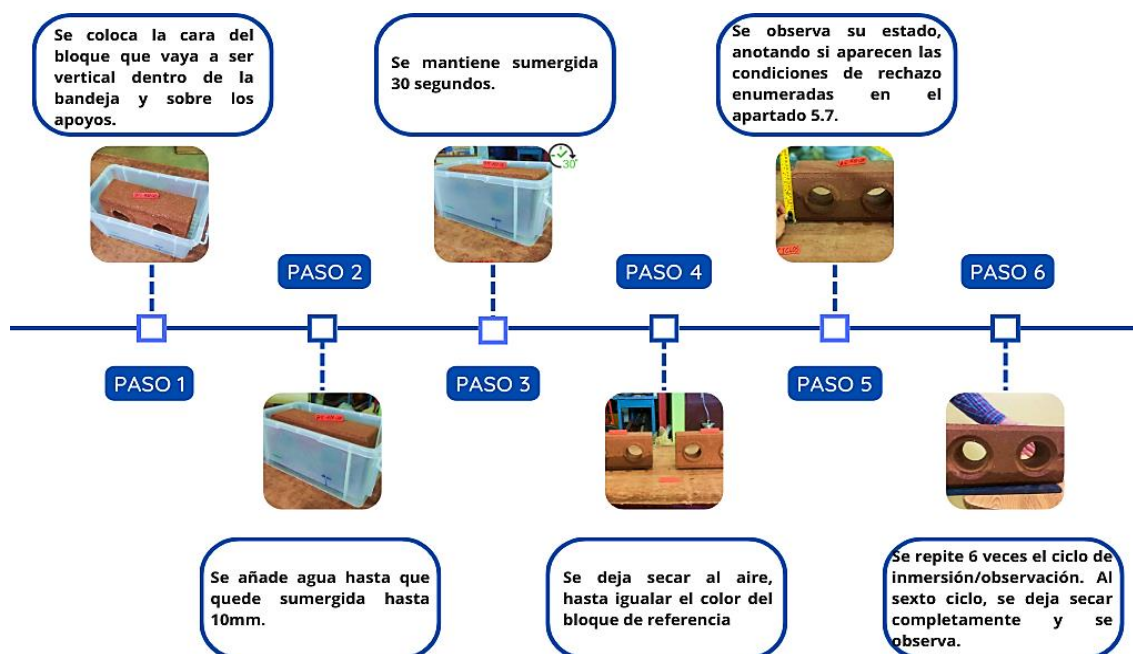
Figura 40 Equipo ocupado en “Ensayo de resistencia a los ciclos de humedad/secado.”



Fuente: Elaboración propia

Para el ensaye de resistencia de ciclos de humedad/secado para los BTC de suelo natural, suelo + 15% Cal Hidratada y los de suelo + 15% Cemento GU, se empleó el procedimiento que explica la figura 41.

Figura 41 Procedimiento del ensaye de resistencia de ciclos de humedad/secado



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resultados:

Los BTC, ensayados según el procedimiento anterior, resultarán aptos, si tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones enumeradas en la figura 38 la cuales son acorde con la estipuladas en el apartado 8.3 de la norma UNE 4141 – 2008 (ver norma en anexo 1).

Luego de haber finalizado los ensayos de resistencia a los ciclos de humedad/secado pudimos observar mediante las valoraciones de tabla 36 que:

Tabla 36 Resultados del ensayo de ciclos de Humedad/Secado de los BTC

Resistencia a los ciclos de humedad/secado (une 41410-2008/8.3)												
Características para evaluar												
ITEM	Código	Fecha de fabricación	Fecha de realización de ensayo	Modelo de grietas aleatorio.	Modelo de grietas en estrellas.	Hinchamiento local.	Picado local en al menos 5 zonas.	Pérdida general o local de capas de suelo.	Penetración de agua en más del 70% de la anchura del BTC (visualmente por el exterior).	Pérdida de fragmentos mayores de 50mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro.	Eflorescencias en la superficie.	POR LO TANTO:
1	BTC-M10-SN	07/02/2023	23/02/2023	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	No es apto
2	BTC-M11-SN	07/02/2023	23/02/2023	Utilizado para comparativa								
4	BTC-M10-CAL15	09/02/2023	22/02/2023	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Es apto
5	BTC-M11-CAL15	09/02/2023	22/02/2023	Utilizado para comparativa								
7	BTC-M10-CEM15	07/02/2023	22/02/2023	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Es apto
8	BTC-M11-CEM15	07/02/2023	22/02/2023	Utilizado para comparativa								

Donde: SN = suelo natural, CAL15 = suelo + 15% Cal hidratada y CEM15 = suelo + 15% cemento GU

✓ = el BTC no presenta daños

✗ = el BTC sí presenta daños

Fuente: Elaboración propia

Los BTC de suelo + 15% Cal Hidratada presentan menor capilaridad, es decir a priori no cambia el color del BTC luego de los ciclos de humedad/secado tal como se puede apreciar en la figura 42.

Figura 42 BTC luego de 6 ciclos de humedad/secado



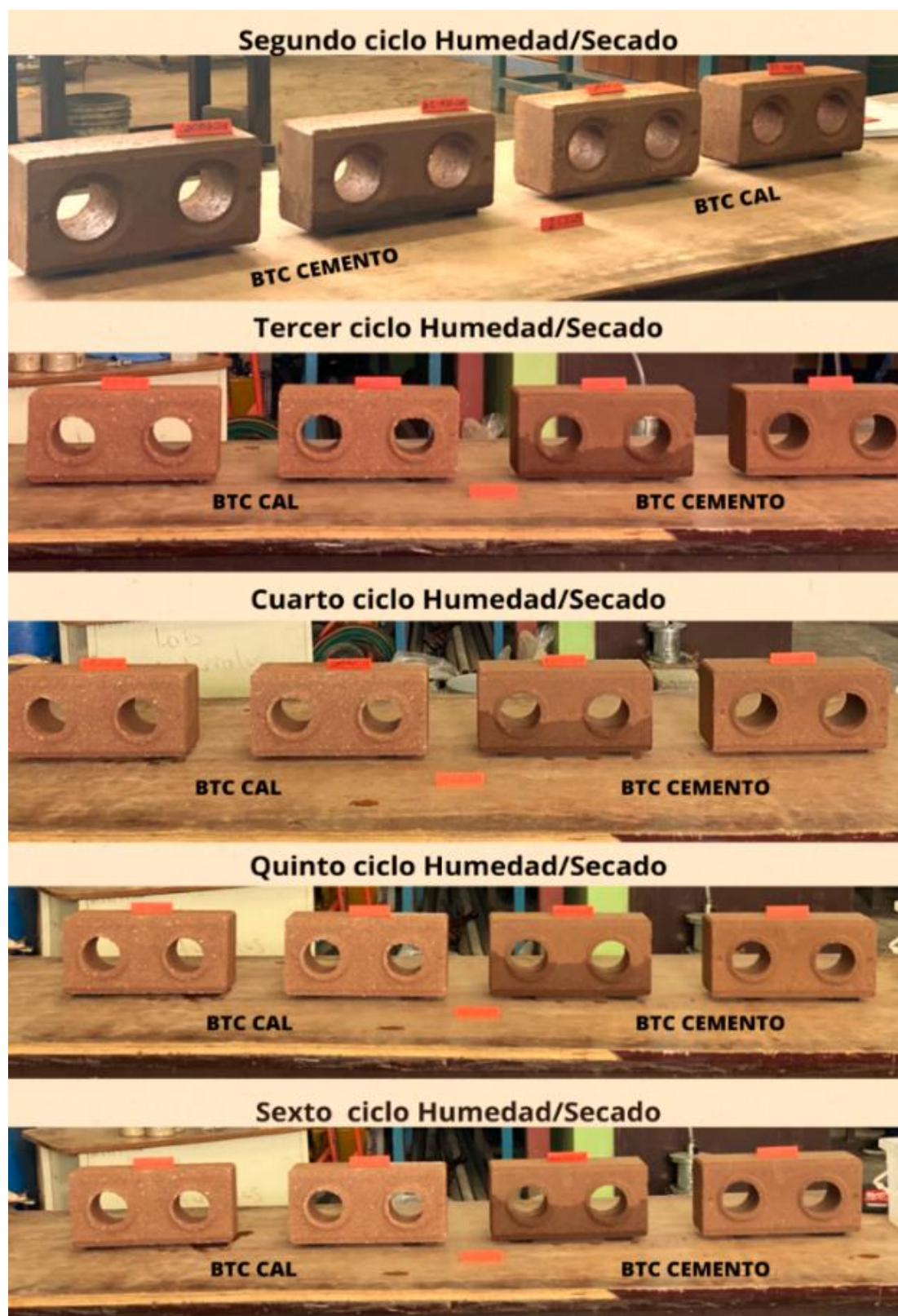
BTC de suelo + 15% Cal Hidratada

BTC de suelo + 15% cemento GU

Fuente: Elaboración propia

Los BTC de suelo +15% cemento GU si presentan una mayor capilaridad esta puede ser vista desde el primer ciclo de humedad. Sin embargo, los BTC con aglomerantes no presentaron desprendimientos, hinchamiento, eflorescencias, ni ninguna otra condición que menciona la norma (UNE 41410-2008/8.3). Por lo que según lo descrito en esta norma podrían declararse como aptos, esto se aprecia de mejor manera en las figuras 42 y 43.

Figura 43 Ciclos de Humedad/Secado BTC cemento y cal



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, los BTC sin aglomerantes con solo suelo natural sufrieron severos daños al momento de realizar el primer ciclo de humedad, luego de realizar el segundo ciclo de humedad este BTC se dañó por completo a como se aprecia en la figura 44, por lo que no es apto según las condiciones descritas en la norma (UNE 41410-2008/8.3) es decir no soportó los seis ciclos de humedad/secado que indica la norma, este es otro aspecto de considerar debido a la importancia de los estabilizante para la fabricación de los BTC.

Figura 44 Primer ciclo de Humedad/Secado de BTC de suelo natural.



Fuente: Elaboración propia

VI. Conclusiones

Con todo lo mostrado en el presente trabajo podemos concluir que:

De acuerdo con las propiedades físicas del suelo en estado natural del sitio de estudio, este se encuentra predominado por arena, siendo un material granular, clasificado según el método SUCS como un suelo SC siendo una arena arcillosa con grava y según el método AASHTO como un suelo A-2-4 otorgándosele el nombre de grava y arenas arcillosas.

Los resultados obtenidos del ensaye de resistencia a la compresión reflejan que este suelo por sí solo no es apto para ser utilizado para la fabricación de BTC. Al ser estabilizado el suelo natural con los distintos porcentajes (5,10 y 15%) de Cal Hidratada y cemento GU, las propiedades físicas y mecánicas del suelo fueron variando, obteniendo mejores resultados, siendo las dosificaciones de suelo + 15% Cal Hidratada y suelo + 15% cemento GU las más idóneas para la fabricación de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC).

Los BTC de suelo natural sin ningún tipo de estabilizante presentaron una resistencia a la compresión (105.442 PSI) menor, en comparación a los BTC de suelo + 15% Cal Hidratada (188.4040 PSI) y los BTC de suelo + 15% cemento GU (948.256 PSI). Logrando determinar que la incorporación de la Cal Hidratada en la fabricación de los BTC no mejora su resistencia a compresión, mientras que la incorporación de cemento GU aumenta significativamente la resistencia a compresión.

Finalmente, considerando todos los resultados descritos anteriormente, se puede afirmar que la incorporación de los estabilizantes es ineludible para la fabricación de los BTC, siendo clasificado así los BTC de suelo + 15% cemento GU como BTC5 y los BTC de suelo + 15% cal hidratada como BTC1, logrando cumplir con los parámetros y requerimientos que establece la norma UNE 41410-2008.

VII. Recomendaciones

1. Para la fabricación de BTC se recomienda utilizar el suelo del sitio en estudio más el 15% de cemento GU para lograr alcanzar el requerimiento de la norma española UNE 41410 – 2008 y lograr obtener un tipo BTC5.
2. Para la fabricación de BTC se recomienda utilizar el suelo del sitio en estudio más el 15% de Cal Hidratada para lograr alcanzar el requerimiento de la norma española UNE 41410 – 2008 y lograr obtener un tipo BTC1.
3. Se recomienda hacer análisis a otros tipos de suelos, ya que esto puede ayudar a adquirir más conocimiento en cuanto a la fabricación de los BTC.
4. Se recomienda la combinación en distintos porcentajes de distintos estabilizantes, para lograr mejorar las propiedades tanto físicas como mecánicas del suelo.
5. Para la estabilización de suelo-cemento y suelo-cal, para la fabricación de BTC, se recomienda realizar una selección adecuada del suelo (cantidad adecuada de arcilla, arena y limo, con una cantidad mínima de materia orgánica y piedras grandes), seleccionar la proporción correcta de estabilizante (cemento o cal), establecer el contenido de humedad y compactación adecuada (importante para lograr la resistencia óptima para el BTC).
6. Se recomienda realizar las pruebas faltantes de las normas nacionales de los bloques y muretes con las dimensiones iniciales de los mismos sin realizar su corte, asimismo, debe adicionarse al bloque elementos o aditivos que incrementen la cohesión de estos evitando el desmoronamiento de las esquinas y lados, para lograr aumentar la resistencia a la compresión.
7. Se recomienda para investigaciones futuras, realizar las pruebas y estudios pertinentes para determinar la clasificación de los BTC según las normas nacionales para unidades de mampostería.

VIII. Bibliografía

- (AENOR), A. E. (2008). *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques*. MADRID - España: AENOR.
- Alejandro Flores Ávila, J. G. (2017). *Parque Agroecológico de Miramar "Autoconstrucción con BTC y Jardín comestible"*. Jalisco: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- ASTM D2487 - 11. (2011). Práctica Estándar para la. *Designacion D2487 - 11*.
- Bowles, J. E. (1982). *Foundation Analysis and Design*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Crespo Villaz, C. (1998). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones* (Cuarta ed.). Mexico:: Limusa, S.A.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Mexico : Cengage Learning © 2013.
- Faria, C. N. (2011). *Técnicas de Construcción con Tierra*. Obtenido de FEB-UNESP / PROTERRA: https://redprotterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra_2011.pdf
- GRACOMAQ. (s.f.). MANUAL DE USO PRENSA ACCIONAMIENTO MANUAL. Barbosa Antioquia, Colombia .
- NEVES, C., FARIA, Borges, O., ROTONDARO, R., CEVALLOS, P. S., & HOFFMANN, M. V. (2010). *Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra - prácticas de campo*. PROTERRA.
- Salinas, L. A. (2015). *Manual de albañilería para la construcción con bloques ecológicos*. Obtenido de Plataforma STUDOCU:
- Seisdedos, J. (2010). "Unidad de producción de bloques de tierra comprimida - BTC". *Arquitectura construida en tierra, tradición e innovación*. Valladolid.
- Villalaz, C. C. (2004). *Mecánica de suelos y Cimentaciones*. México: Editorial Limusa Noriega Editores.

IX. Cronograma de ejecución

Nº	Actividad	Del 9 de enero al 4 de marzo (Tiempo en semanas)							
		del 9 al 15 enero	del 16 al 22 enero	del 23 al 29 enero	del 30 al 5 febrero	del 6 al 12 febrero	del 13 al 19 febrero	del 20 al 26 febrero	del 27 al 5 marzo
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Adquisición de la documentación necesaria para la investigación.								
2	Sondeo manuales y explotación a sitio de estudio.								
3	Realización de ensayos y pruebas de laboratorios para suelo en estado natural según los parámetros de las normas ASTM.								
4	Proceso de datos y cálculos matemáticos.								
5	Análisis de datos y propuesta de diseño de mezcla con estabilizantes.								
6	Realización de ensayos y pruebas de laboratorios para suelo estabilizado según los parámetros de las normas ASTM.								
7	Análisis de datos y propuesta de diseño de mezcla con estabilizantes para la fabricación de bloques de tierra comprimida (BTC).								
8	Fabricación de bloques de tierra comprimida.								
9	Realización de ensayos y pruebas de laboratorios para bloques de tierra comprimida (BTC) según los parámetros de la norma UNE 41410.								
10	Validación de los resultados previamente procesados, para la obtención de la mejor alternativa de diseño.								
11	Elaboración de documento final								
12	Entrega final del proyecto								

X. Anexos

Anexo 1 Norma Española UNE 41410 – 2008 (Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques).

Diciembre 2008

TÍTULO

Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques

Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo

Compressed earth blocs for walls and partitions. Definitions, specifications and test methods.

Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons. Définitions, spécifications et méthodes d'essai.

CORRESPONDENCIA

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 *Construcción* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 55496:2008

© AENOR 2008
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

26 Páginas

Grupo 13

108

ÍNDICE

	Página
0 INTRODUCCIÓN.....	4
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	4
2 NORMAS PARA CONSULTA.....	4
3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS.....	5
3.1 Términos y definiciones de los productos.....	5
3.2 Símbolos	7
4 MATERIALES Y FABRICACIÓN	7
5 ESPECIFICACIONES DE LOS BTC PARA FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA	7
5.1 Generalidades	7
5.2 Dimensiones y tolerancias.....	7
5.3 Configuración	8
5.4 Densidad.....	10
5.5 Características de los constituyentes	11
5.6 Resistencia a compresión	13
5.7 Resistencia a ciclos de humectación/secado	14
5.8 Resistencia a la erosión	14
5.9 Absorción de agua por capilaridad.....	14
5.10 Resistencia a ciclos de hielo/deshielo	14
5.11 Propiedades térmicas	14
5.12 Permeabilidad al vapor de agua	15
5.13 Reacción al fuego.....	15
5.14 Adherencia	15
6 DESCRIPCIÓN, DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BTC.....	15
6.1 Descripción y designación.....	15
6.2 Clasificación.....	15
7 MARCADO Y ENTREGA.....	16
7.1 Marcado	16
7.2 Entrega.....	16
8 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD	16
8.1 Aspecto	16
8.2 Resistencia a compresión	16
8.3 Ensayo de humectación/secado	16
8.4 Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)	17
8.5 Ensayo de absorción de agua por capilaridad	18
ANEXO A (Informativo) USO Y DURABILIDAD	19
ANEXO B (Informativo) AGUA DE AMASADO DE MORTEROS Y DE FABRICACIÓN DE BTC	21
ANEXO C (Informativo) ESTABILIZACIÓN	22
ANEXO D (Informativo) EJEMPLOS DE DIFERENTES FORMAS DE BLOQUES	24
BIBLIOGRAFÍA.....	26

0 INTRODUCCIÓN

Esta norma ha sido elaborada por el Subcomité Técnico AEN/CTN 41 SC10 *Edificación con tierra cruda*, cuya Secretaría desempeña el Departamento de Construcción y Vías Rurales de la ETSI Agrónomos de Madrid.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma tiene por objeto definir los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas de albañilería por ejemplo, fachadas vistas y revestidas, estructuras de carga y no portantes, muros y particiones interiores.

Fija las prestaciones que deben cumplir los bloques y los ensayos propios para determinarlas, así como el marcado que permite identificarlas.

Se aplica a los bloques de tierra comprimida conforme a la definición 3.1.2, que están destinados a fábricas de albañilería, sean vistas o no. Esta norma no contempla los bloques de tierra comprimida obtenidos por extrusión.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos que se citan a continuación son indispensables para la aplicación de esta norma. Únicamente es aplicable la edición de aquellos documentos que aparecen con fecha de publicación. Por el contrario, se aplicará la última edición (incluyendo cualquier modificación que existiera) de aquellos documentos que se encuentran referenciados sin fecha.

UNE 80309:2006 *Cementos naturales. Definiciones, clasificación y especificaciones de los cementos naturales.*

UNE 80402:2008 *Cementos. Condiciones de suministro.*

UNE 103101:1995 *Análisis granulométrico de suelos por tamizado.*

UNE 103102:1995 *Análisis granulométrico de suelos finos por sedimentación. Método del densímetro.*

UNE 103103:1994 *Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.*

UNE 103104:1993 *Determinación del límite plástico de un suelo.*

UNE 103204:1993 *Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.*

UNE 103205:2006 *Determinación del contenido de sales solubles de un suelo.*

UNE-EN 197-1:2000 y UNE-EN 197-1:2000/A1:2005 *Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes.*

UNE-EN 197-2:2000 *Cemento. Parte 2: Evaluación de la conformidad.*

UNE-EN 413-1:2005 *Cementos de albañilería. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad*

UNE-EN 413-2:2006 *Cementos de albañilería. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 459-1:2002 *Cales para la construcción. Parte 1: Definiciones, especificaciones y criterios de conformidad.*

UNE-EN 459-2:2002 *Cales para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 459-3:2002 *Cales para la construcción. Parte 3: Evaluación de la conformidad.*

UNE-EN 13279-1:2006 *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 1: Definiciones y especificaciones.*

UNE-EN 13279-2:2006 *Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*

UNE-EN 772-1:2002 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión.*

UNE-EN 772-2:1999 y UNE-EN 772-2:1999/A1:2005 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 2: Determinación del porcentaje de superficie de huecos en piezas para fábrica de albañilería (por impresión sobre papel).*

UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 11: Determinación de la absorción de agua por capilaridad de piezas para fábrica de albañilería, en hormigón, piedra natural y artificial, y de la tasa de absorción de agua inicial de las piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería.*

UNE-EN 772-13:2001 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 13: Determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de piezas para fábrica de albañilería. (excepto piedra natural).*

UNE-EN 772-16:2001 y UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 16: Determinación de las dimensiones.*

UNE-EN 772-20:2001 y UNE-EN 772-20:2001/A1:2006 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 20: Determinación de la planeidad de las caras de piezas para fábrica de albañilería.*

UNE-EN 998-2:2004 *Especificaciones de los morteros para albañilería. Parte 2: Morteros para albañilería*

UNE-EN 1052-3:2003 *Métodos de ensayo para fábricas de albañilería. Parte 3: Determinación de la resistencia inicial a cortante.*

UNE-EN 1745:2002 *Fábrica de albañilería y componentes para fábrica. Métodos para determinar los valores térmicos de proyecto.*

UNE-EN ISO 12572 *Prestaciones higrotérmicas de los productos y materiales para edificios. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua. (ISO 12572:2001).*

3 TÉRMINOS, DEFINICIONES Y SÍMBOLOS

3.1 Términos y definiciones de los productos

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

3.1.1 pieza para fábrica de albañilería:

Componente preformado para uso en obras de albañilería.

3.1.2 Bloque de Tierra Comprimida (BTC):

Pieza para fábrica de albañilería generalmente con forma de paralelepípedo rectangular, obtenida por compresión estática o dinámica de tierra húmeda, seguida de un desmolde inmediato, y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de los productos (véase 5.5).

3.1.3 BTC ordinario:

Bloque utilizado para construir las partes macizas de las fábricas de albañilería.

3.1.4 BTC accesorio:

Bloque cuya forma o estructura interna son diferentes a las del bloque ordinario y que es utilizado para la ejecución de encuentros particulares de albañilería como armados verticales, dinteles, etc.

3.1.5 bloque cara vista:

Bloque cuya cara, realizada para ser vista, se utiliza para construir los muros o los tabiques.

3.1.6 BTC macizo:

Bloque que presenta como máximo un 15% de huecos.

3.1.7 BTC aligerado:

Bloque cuya densidad aparente seca es menor o igual a 1 200 kg/m³.

3.1.8 BTC para armar:

Bloque con huecos o rebajes superficiales preparado para ser armado con elementos metálicos u orgánicos. En cada caso, se debe justificar que el hueco permite un recubrimiento adecuado.

3.1.9 BTC para colocación en seco:

Bloque con entrantes y salientes suficientes para que la transmisión de esfuerzos se realice en seco, total o parcialmente.

3.1.10 cara de colocación:

Cara superior del bloque en posición de obra, que recibe la capa de mortero que constituye la junta horizontal superior.

3.1.11 cara de apoyo:

Cara inferior del bloque en posición de obra, que se apoya sobre el mortero de la junta horizontal inferior.

3.1.12 junta continua:

Junta de mortero que se extiende de forma continua de un paramento a otro.

3.1.13 junta discontinua:

Junta de mortero que presenta uno o varios espacios vacíos, paralelos a los paramentos, dominando sobre toda la longitud del bloque (junta horizontal) o sobre toda su altura (junta vertical).

3.1.14 dimensión modular:

Dimensión del espacio de modulación asignado a una pieza para fábrica de BTC en el muro terminado, que se obtiene sumando a las dimensiones de fabricación del bloque el espesor de las juntas y, eventualmente, cuando el bloque lleva revestimiento, el de los acabados. Estas dimensiones de coordinación son determinantes para el ensamblaje de los bloques entre sí o con los elementos próximos.

3.1.15 dimensión nominal:

Dimensión de la pieza especificada para su fabricación, a la cual se debe ajustar la dimensión real con las desviaciones permitidas.

3.1.16 dimensión efectiva:

Dimensión obtenida por medición directa sobre el bloque.

3.1.17 sección bruta (S_b):

Área obtenida al multiplicar las dos dimensiones efectivas, anchura y longitud, medidas en la misma sección horizontal. Salvo indicación en contra, la sección bruta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.

3.1.18 sección neta (S_n):

Área de una sección horizontal de la tierra comprimida, excluidos los vacíos. Salvo indicación contraria, la sección neta se refiere a la sección mínima susceptible de ser obtenida en el bloque.

3.1.19 sección de apoyo (S_a):

Superficie común de las partes de la cara de colocación y de la cara de apoyo superpuestas a las juntas de mortero y susceptibles de transmitir las cargas.

3.1.20 fisura:

Grieta de cualquier anchura, longitud y dirección, que afecta a todo el espesor de la pared o del producto.

3.1.21 microfisura:

Grieta fina cuya anchura no supera 1 mm y que afecta a no todo el espesor de una pared o del producto.

3.1.22 valor declarado:

Valor que el fabricante tiene previsto alcanzar, teniendo en cuenta la precisión de los ensayos y la variabilidad del proceso de fabricación.

3.1.23 hueco:

Cavidad o refuerzo sobre una o varias caras de la pieza para fábrica de albañilería (por ejemplo, hueco para el mortero, acanaladura para enlucido, estriado para asegurar la discontinuidad de la junta de mortero).

3.1.24 alvéolo:

Hueco que puede atravesar o no una pieza para fábrica de albañilería.

3.1.25 terminología del aspecto del paramento:

El aspecto de la(s) cara(s) vista(s), se obtiene directamente en molde (bloques brutos de desmolde) y se define según los siguientes ejemplos (lista no limitativa):

- Bloque de cara(s) plana(s): su(s) cara(s) vista(s) es (son) plana(s).
- Bloque con relieve: bloque en el que al menos una de sus caras vistas presenta un relieve, regular o no, obtenido por el efecto de la compresión.

3.2 Símbolos

l longitud, en mm;

w anchura, en mm;

h altura, en mm;

f_c resistencia normalizada a compresión, en N/mm².

4 MATERIALES Y FABRICACIÓN

Las especificaciones de los materiales que se utilizarán en la fabricación de los BTC deben incluirse en la documentación del control de producción. El fabricante tiene que probar que son los adecuados.

5 ESPECIFICACIONES DE LOS BTC PARA FÁBRICA DE ALBAÑILERÍA**5.1 Generalidades**

Las especificaciones y características requeridas en esta norma deben ser definidas de acuerdo a los métodos de ensayo y demás procedimientos referenciados o que aparecen explícitamente en ella.

Los criterios de conformidad dados en los apartados siguientes se refieren a los ensayos definidos en el capítulo 8 o en las normas de ensayo que se especifican.

Conviene destacar que los métodos de ensayo no son siempre aplicables a los bloques accesorios.

Para la evaluación de la producción, el fabricante debe definir el criterio de conformidad en la documentación del control de producción en fábrica.

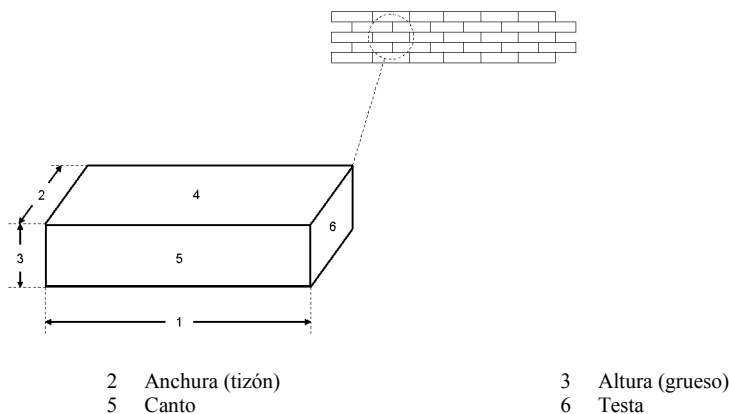
5.2 Dimensiones y tolerancias

La determinación de las dimensiones de los BTC se debe hacer de acuerdo con el procedimiento descrito en las Normas UNE-EN 772-16:2001, UNE-EN 772-16:2001/A1:2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006.

5.2.1 Dimensiones

El fabricante debe declarar las dimensiones nominales del bloque en milímetros, especificando la longitud (soga), la anchura (tizón) y la altura (grueso), por este orden (véase la figura 1).

NOTA Además, se podrán especificar las dimensiones modulares.



NOTA Esta nomenclatura es la empleada habitualmente para designar la situación de las piezas en el muro.

Figura 1 – Dimensiones y superficies

5.2.2 Tolerancias

La variación por exceso de las dimensiones efectivas del bloque respecto de las dimensiones nominales no debe ser mayor de 5 mm. La variación por defecto de las dimensiones efectivas del bloque respecto de las dimensiones nominales no debe ser mayor de 2 mm.

El fabricante podrá declarar tolerancias menores para una o más dimensiones.

Estas tolerancias no deben aplicarse a las dimensiones comprendidas entre las superficies del bloque que no sean planas. Las tolerancias admisibles en las dimensiones de fabricación de los bloques accesorios deben ser las indicadas en el párrafo anterior o las declaradas por el fabricante.

El procedimiento de medida debe estar de acuerdo con lo especificado en las Normas UNE-EN 772-16:2001, UNE-EN 772-16:2001/A1: 2006 y UNE-EN 772-16:2001/A2:2006.

5.3 Configuración

5.3.1 Generalidades

La forma y sus características deben ser definidas por el fabricante.

5.3.2 Cara de apoyo

La cara de apoyo debe ser, al menos, un tercio de la sección bruta.

5.3.3 Juntas

5.3.3.1 Junta vertical o llaga

Las caras laterales de los extremos son generalmente planas. Los bloques destinados a ser colocados con una junta de mortero deben permitir la ejecución de una junta vertical continua de 15 mm acotada entre dos extremos planos para los bloques pudiéndose considerar un espesor de 10 mm cuando la coordinación modular lo permita.

5.3.3.2 Junta horizontal o tendel

Las caras horizontales deben permitir la ejecución de juntas horizontales continuas.

5.3.4 Bloques accesorios

Los bloques accesorios, cuya utilización es particularmente recomendada para ciertas disposiciones constructivas, tales como armaduras horizontales y verticales así como para dinteles, deben ser de la misma naturaleza que los bloques a los cuales están asociados, con el fin de asegurar la homogeneidad de la albañilería en los distintos puntos. Estos bloques serán objeto de un cuidado particular durante el proceso de fabricación para evitar que sufran daños durante su manipulación.

5.3.5 Aspecto

5.3.5.1 Planeidad de superficies

Las caras del bloque deben ser planas. La determinación de la planeidad se hará de acuerdo con las Normas UNE-EN 772-20:2001 y UNE-EN 772-20:2001/A1:2006. Cuando la superficie de un bloque es declarada plana por el fabricante, no se debe desviar de un plano en más del mayor de los siguientes valores:

$$2 \text{ mm o el resultado de la siguiente expresión: } (0,1\sqrt{l_d}) \text{ (mm)}$$

donde

l_d longitud de la diagonal de la superficie del bloque declarada plana, basada en las dimensiones reales del bloque, en mm.

5.3.5.2 Defectos

Las caras vistas de los bloques no deben presentar defectos aparentes como deformaciones. Las aristas en la cara vista deben ser nítidas y rectilíneas. Las caras vistas no deben presentar ninguna mancha o suciedad importante o duradera que cubra más de $\frac{1}{4}$ de su superficie. Además, conviene determinar si estas manchas o suciedades son o no compatibles con el tipo de obra que se pretende ejecutar.

No se tendrán en cuenta ni los mantos blanquecinos ligeros ni los pequeños ribetes.

Desconchados

No se toleran los desconchados en las esquinas, excepto cuando pueden inscribirse en un triedro trirectángulo cerrado por un triángulo equilátero de lado $\leq T$ (mm) (véase la figura 2).

Los desconchados en las aristas y las oquedades sólo son tolerables cuando su longitud sea inferior a T_1 (mm), medida sobre las aristas y la profundidad sea inferior a T_2 (mm), medida a partir de las aristas.

Los valores de T , T_1 y T_2 se dan en la tabla 1 y se ilustran en las figuras 2 y 3.

Tabla 1 – Tolerancias dimensionales de los desconchados en las esquinas y en las aristas

Bloques	T (mm)	T_1 (mm)	T_2 (mm)
BTC cara vista	10	20	5
BTC ordinarios	20	30	10

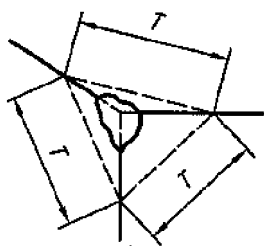


Figura 2 – Desconchado en una esquina

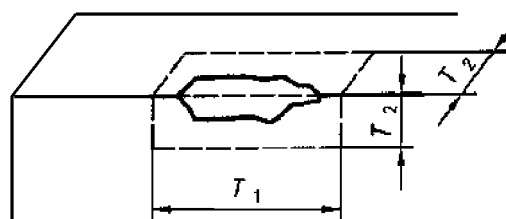


Figura 3 – Desconchado en una arista

Microfisuras

Las microfisuras sólo se tolerarán en bloques cara vista, cuando:

- su anchura no supere 0,5 mm;
- su longitud no supere 20 mm;
- su profundidad no supere 5 mm;
- su número no pase de 2 para una misma cara.

Las microfisuras sólo se tolerarán en los bloques ordinarios, cuando:

- su anchura no supere 1 mm;
- su longitud no supere 40 mm;
- su profundidad no supere 10 mm;
- su número no pase de 3 para una misma cara.

5.3.5.3 Alvéolos

El porcentaje de alvéolos, si los hay, debe ser declarado. El volumen en porcentaje de los alvéolos del bloque debe determinarse según las Normas UNE-EN 772-2:1999 y UNE-EN 772-2:1999/A1:2005 y por cálculo. Los resultados deben corresponder con los valores declarados.

5.4 Densidad

5.4.1 Densidad aparente seca de los bloques

El fabricante debe declarar la densidad aparente en seco del BTC. La determinación de la misma se hará de acuerdo con la Norma UNE-EN 772-13:2001.

5.4.2 Densidad absoluta seca de los bloques.

El fabricante debe declarar la densidad absoluta seca del BTC cuando corresponda según los usos para los cuales se comercializa y para todos los casos en los que los bloques son utilizados en elementos sujetos a exigencias acústicas. La determinación de la misma se hará de acuerdo a la Norma UNE-EN 772-13:2001.

NOTA Se recomienda que el fabricante especifique la masa seca del BTC.

5.5 Características de los constituyentes

5.5.1 Estabilizantes y aditivos

El fabricante debe declarar el/los aditivos o estabilizante/s usado/s. En el caso de utilizar cemento, cal o yeso, el contenido total de éstos debe ser menor o igual al 15% de la masa en seco del BTC.

Esta norma contempla otros tipos de estabilización. Algunos de ellos se recogen en el anexo C (informativo).

NOTA En el caso de utilizarse varios conglomerantes, se entiende que la suma de los porcentajes de todos ellos debe ser inferior al 15% de la masa en seco del BTC.

El cemento empleado como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes, así como en la reglamentación vigente¹⁾:

- Norma UNE 80402:2008.
- Norma UNE-EN 197-1:2000.
- Norma UNE-EN 197-1:2000/A1:2005.
- Norma UNE-EN 197-2:2000
- Norma UNE-EN 197-2:2000/A1:2005.
- Norma UNE 80309:1994.
- Norma UNE-EN 413-1:2005.
- Norma UNE-EN 413-2:2006.

La cal empleada como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes, así como en la reglamentación vigente²⁾:

- Norma UNE-EN 459-1:2002.
- Norma UNE-EN 459-2:2002.
- Norma UNE-EN 459-3:2002.

El yeso empleado como estabilizante para la fabricación de los BTC debe responder a las condiciones especificadas en las normas siguientes:

- Norma UNE-EN 13279-1:2006.
- Norma UNE-EN 13279-2:2006.

5.5.2 Tierra

La tierra destinada a la construcción de los BTC está compuesta esencialmente por grava, arena, limo y arcilla, mezclado con agua y, opcionalmente, con estabilizantes y aditivos.

Deben rechazarse las tierras que contengan:

- Materia orgánica en cantidad mayor o igual del 2%. La determinación del contenido en materia orgánica de los suelos que se empleen en la fabricación de los BTC se hará de acuerdo con la Norma UNE 103204:1993.
- Sales solubles en contenido mayor del 2%. El contenido en sales solubles de los suelos que se empleen en la fabricación de los BTC se determinará de acuerdo con la Norma UNE 103205:2006.

1) En el momento de publicación de esta norma, la reglamentación vigente es la Instrucción para la Recepción de Cementos (RC-08).

2) En el momento de publicación de esta norma, la reglamentación vigente es la Instrucción para la Recepción de Cales (RCA-92).

Las principales características de la tierra se definen por:

- La granulometría.
- La plasticidad.
- El tipo de arcilla.

5.5.2.1 Granulometría

La determinación de la distribución de tamaños de partícula de la tierra utilizada para fabricar los BTC se realizará según las Normas UNE 103101:1995 y UNE 103102:1995.

Se recomienda que la granulometría del material utilizado esté inscrita en el huso del diagrama de textura de la figura 4. Los límites del huso recomendado son aproximados. Los materiales cuya textura está inscrita en el huso recomendado dan resultados satisfactorios en la mayoría de los casos.

No se admitirán aquellas tierras con un contenido en arcillas menor al 10%.

5.5.2.2 Plasticidad

La determinación de la plasticidad de los suelos que se utilicen para la fabricación de los BTC se realizará según lo establecido en las Normas UNE 103103:1994 y UNE 103104:1993.

Se recomienda que la plasticidad del material esté comprendida preferentemente en la zona sombreada del diagrama de plasticidad de la figura 5. Los límites recomendados son aproximados. Los materiales cuya plasticidad queda inscrita en la zona sombreada recomendada, en la mayoría de los casos, dan resultados satisfactorios.

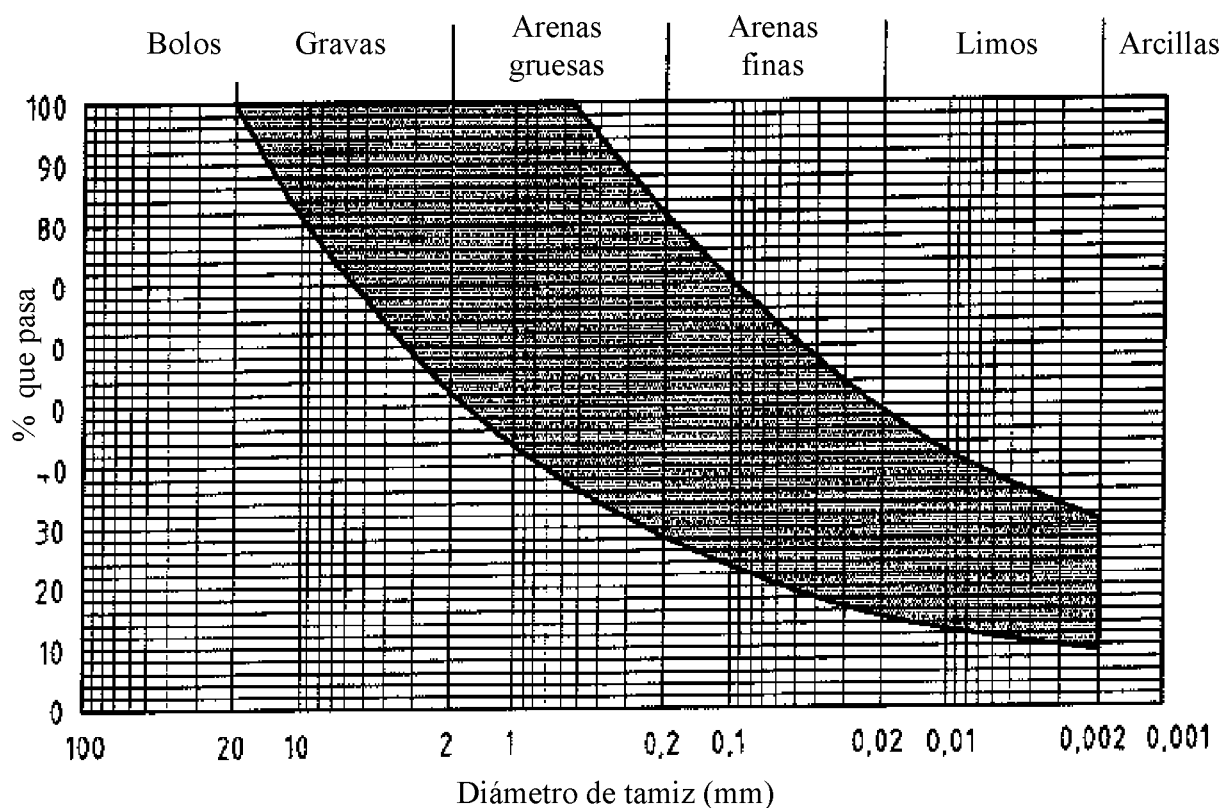


Figura 4 – Huso del diagrama de texturas de las tierras

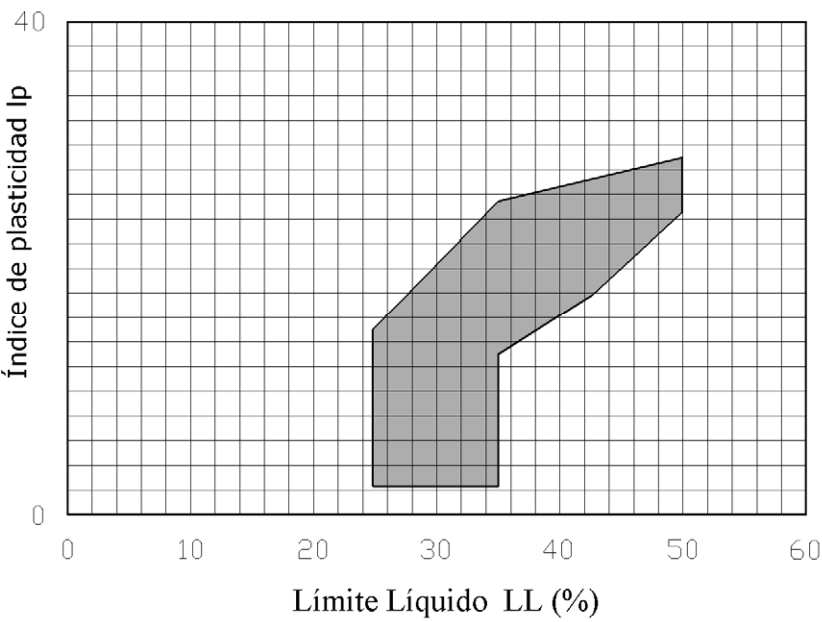


Figura 5 – Zona recomendada del diagrama de plasticidad de las tierras

5.5.3 Agua

En general, pueden emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica. En caso de no existir antecedentes de su uso y siempre que existan dudas, se recomienda analizarla según lo especificado en el anexo B (informativo).

5.6 Resistencia a compresión

El fabricante debe declarar la resistencia normalizada a compresión del BTC en N/mm^2 , (véase la definición de valor declarado en el apartado 3.1.18). El valor declarado debe corresponder a la resistencia normalizada a compresión (fractil del 5%), f_c , en el momento del suministro, y debe ser como mínimo el valor indicado en la tabla 2.

NOTA Esto significa que la interpretación estadística de los resultados de los ensayos debe demostrar que el 95% de la producción correspondiente presenta una resistencia al menos igual al valor correspondiente de la tabla.

Además, ningún resultado debe ser inferior a 0,8 veces el valor de esta resistencia.

Tabla 2 – Clases de resistencia normalizada a compresión

Bloques	BTC 1	BTC 3	BTC 5
Resistencia normalizada, f_c , (fractil 5%), en N/mm^2	1,3	3	5

NOTA Respecto a los bloques accesorios, véase el apartado 5.3.4.

Para la determinación de la resistencia normalizada a compresión, se debe seguir el procedimiento descrito en el apartado 8.2 de esta norma.

La declaración del fabricante debe indicar la orientación de los BTC que han sido ensayados, el método de apoyo del bloque, así como el método de acondicionamiento y de preparación de la superficie.

5.7 Resistencia a ciclos de humectación/secado

Los BTC utilizados en fábricas sometidas a exposición severa (véase el anexo A) se deben ensayar de acuerdo al apartado 8.3 de esta norma, previamente al ensayo de erosión, debiéndose verificar que, tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones siguientes:

- Modelo de grietas aleatorio.
- Modelo de grietas en estrella.
- Hinchamiento local.
- Picado local en al menos 5 zonas.
- Pérdida general o local de capas de suelo.
- Penetración de agua en más del 70% de la anchura del BTC (visualmente por el exterior).
- Pérdida de fragmentos mayores a 50 mm, excepto los que provengan de la parte comprendida entre los bordes y 50 mm hacia adentro.
- Eflorescencias en la superficie.

5.8 Resistencia a la erosión

Los BTC utilizados en fábricas sometidas a exposición severa (véase el anexo A) se deben ensayar conforme al apartado 8.4 de esta norma. El BTC así ensayado se clasificará en “apto” o “no apto”, según el criterio expresado en la tabla 3.

Tabla 3 – Resistencia a la erosión. Criterios de aceptación o rechazo

Propiedad	Criterio	Resultados
<i>D</i> , (profundidad de la oquedad, en mm)	$0 \leq D \leq 10$	Bloque apto
	$D > 10$	Bloque no apto

5.9 Absorción de agua por capilaridad

El fabricante debe declarar el valor del coeficiente C_b de absorción de agua por capilaridad de una muestra de piezas si éstas están destinadas a elementos exteriores con la cara vista. Esta información debe referirse a las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, según se especifica en el apartado 8.5 de esta norma.

5.10 Resistencia a ciclos de hielo/deshielo

En función de los usos para los cuales se comercializa el BTC, el fabricante debe evaluar y declarar la resistencia al hielo/deshielo del bloque, haciendo referencia a la experiencia previa de utilización en la zona de uso hasta que esté disponible una norma europea adecuada.

NOTA Cuando el producto se utilice protegido frente a la penetración de agua (por ejemplo, mediante capa de enlucido, revestimiento, pared interior de una cavidad del muro, muros internos), no es necesario hacer referencia a la resistencia al hielo/deshielo.

5.11 Propiedades térmicas

En función de los usos para los cuales se comercializa el BTC, y en todos los casos para bloques que vayan a usarse en construcciones sujetas a exigencias de aislamiento térmico, el fabricante debe facilitar la información sobre las propiedades térmicas del producto. Dichas propiedades térmicas deben determinarse según el apartado 4.2.2 de la Norma UNE-EN 1745:2002.

5.12 Permeabilidad al vapor de agua

Para los BTC destinados a paramentos exteriores, el fabricante tiene que facilitar la información relativa a la permeabilidad de las piezas, acorde con la Norma UNE-EN ISO 12572.

5.13 Reacción al fuego

Para los BTC diseñados para ser utilizados en elementos con requisitos de resistencia al fuego, el fabricante debe declarar la clasificación de reacción al fuego de los bloques.

5.14 Adherencia

Si los bloques están diseñados para ser sometidos a requisitos estructurales, la resistencia de la adherencia a cortante de la pieza en combinación con un tipo específico de mortero conforme a la Norma UNE EN 998-2:2004 debe declararse en términos de la resistencia característica inicial a cortante en base a ensayos conforme a la Norma UNE-EN 1052-3:2003. La resistencia característica inicial a cortante no debe ser inferior al valor declarado.

NOTA La resistencia de adherencia depende del mortero, del bloque y del trabajo del operario.

6 DESCRIPCIÓN, DESIGNACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS BTC

6.1 Descripción y designación

La designación de los bloques de tierra comprimida comprende, por orden, las indicaciones siguientes:

- “BTC” (para bloques de tierra comprimida),
- categoría de uso: O (comunes) o P (cara vista),
- clase de resistencia a compresión,
- dimensiones de fabricación expresadas por orden: longitud-anchura-altura (en mm),
- referencia a esta norma.

Ejemplos de denominación:

- BTC O 3, $295 \times 140 \times 95$, UNE-41410.
- BTC P 5, $220 \times 220 \times 95$, UNE-41410.
- BTC P 5, $300 \times 145 \times 105$, UNE-41410.

6.2 Clasificación

Se distinguen dos categorías de bloques de tierra comprimida:

- a) categoría O: bloques comunes destinados a ser recubiertos por una protección cualquiera;
- b) categoría P: bloques cara vista.

En cada categoría, los bloques se clasifican en función de su resistencia mecánica mínima garantizada a compresión.

Según su resistencia mecánica mínima garantizada a compresión con respecto a la sección bruta y expresada en N/mm^2 , los bloques se clasifican de acuerdo con una de las clases de resistencia definidas en el apartado 5.6.

- BTC 1.
- BTC 3.
- BTC 5.

7 MARCADO Y ENTREGA

7.1 Marcado

Los documentos que acompañan el suministro (nota de entrega) deben llevar indicada la identificación propia y adecuada de cada fabricante.

La variación de la masa volumétrica de un lote determinado no deberá exceder de 100 kg/m³.

7.2 Entrega

El plazo de entrega para fechar el final de fabricación debe ser tal que, teniendo en cuenta las condiciones de fabricación, las especificaciones de la norma sean respetadas.

Para los bloques con un estabilizante que requiera un tiempo de fraguado, el período de fabricación debe comprender obligatoriamente un periodo de cura suficiente y adecuado al tipo de estabilizante utilizado.

8 EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

El fabricante que, para la venta de sus productos, se base en esta norma, o en un texto que haga referencia a alguno de sus apartados, debe garantizar que todas las prescripciones enumeradas han sido respetadas y en particular, que se han efectuado las verificaciones correspondientes.

8.1 Aspecto

Se deberá controlar el aspecto de los bloques de la muestra y anotar los defectos eventuales. El material utilizado para controlar el aspecto del paramento debe permitir una apreciación con aproximación de 1 mm.

Se debe verificar que el estado de la superficie del paramento es conforme con la terminología de aspecto del paramento acordado a la hora del pedido.

8.2 Resistencia a compresión

Para el cálculo de la resistencia a compresión del BTC, se seguirá el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 772-1:2002, con la salvedad de que sólo se admitirá el ensayo de piezas enteras secadas al aire, no siendo, por tanto, de aplicación los apartados 7.3.3, 7.3.4 y 7.3.5 de dicha norma).

Para el cálculo de la resistencia normalizada a compresión, se aplicará a la resistencia característica obtenida tras el ensayo solamente el factor de forma correspondiente, sin aplicar el factor de conversión debido al acondicionamiento de la pieza.

8.3 Ensayo de humectación/secado

Este ensayo se debe realizar previamente al ensayo de erosión.

8.3.1 Probetas

Se deben tomar dos bloques enteros, utilizándose uno de ellos como referencia.

8.3.2 Equipo

El equipo necesario para realizar el ensayo estará formado por los siguientes elementos:

- Una bandeja, de dimensiones suficientes para alojar el BTC sin que exista contacto entre ambos y capaz de contener el volumen de agua necesario para el ensayo.
- Tres piezas de apoyo de 3 mm de altura.

8.3.3 Procedimiento

Se coloca la cara del bloque que vaya a ser vertical dentro de la bandeja y sobre los apoyos. Se añade agua hasta que quede sumergida hasta 10 mm. Se mantiene sumergida 30 s. Se deja secar al aire, hasta igualar el color del bloque de referencia, y se observa su estado, anotando si aparecen las condiciones de rechazo enumeradas en el apartado 5.7. Se repite 6 veces el ciclo de inmersión/secado/observación. Al sexto ciclo, se deja secar completamente y se observa.

8.3.4 Resultados

Los BTC, ensayados según el procedimiento anterior, resultarán aptos si tras seis ciclos de humectación/secado, no se observa ninguna de las condiciones enumeradas en el apartado 5.7 de esta norma.

8.4 Ensayo de erosión acelerada Swinburne (SAET)

8.4.1 Probetas

Se ensayarán al menos dos bloques enteros elegidos de manera aleatoria, curados durante 28 días antes del ensayo.

8.4.2 Equipo

En la figura 6 se muestra un esquema del equipo a utilizar.

8.4.3 Procedimiento

Se deja caer una corriente continua de agua sobre el bloque durante 10 min a través de un tubo de cristal de $\varnothing_{\text{interior}} = 5 \text{ mm}$, conectado a un tanque de agua de nivel constante, cuya cabecera está a 1,5 m sobre la cara del bloque. Éste se mantiene inclinado a 27° respecto a la horizontal. Con una varilla de $\varnothing = 3 \text{ mm}$, se mide la profundidad de las oquedades, (D) que aparecen.

8.4.4 Resultados

El BTC ensayado conforme a esta norma se clasificarán como “apto” o “no apto”, según el criterio detallado en el apartado 5.8 de esta norma.

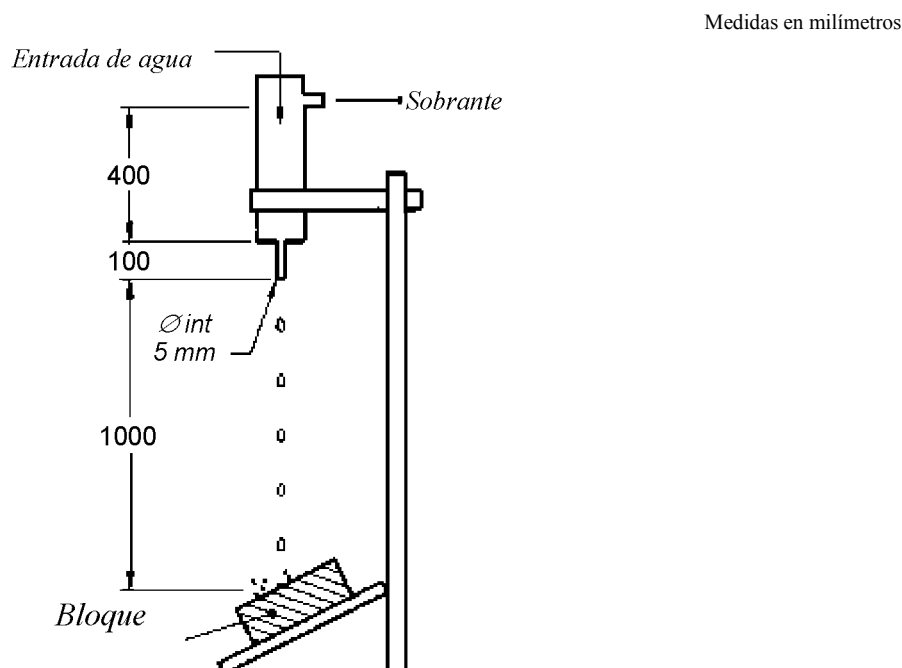


Figura 6 – Esquema del ensayo (informativo)

8.5 Ensayo de absorción de agua por capilaridad

La determinación de la absorción de agua por capilaridad en los BTC se realizará conforme a las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta las observaciones siguientes:

8.5.1 Probetas

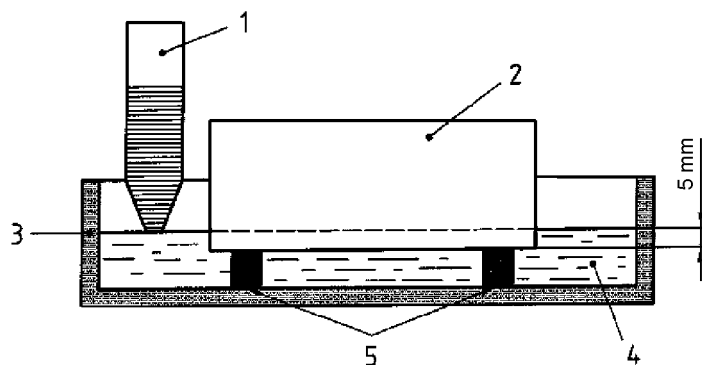
Las medidas se efectúan sobre seis bloques enteros.

8.5.2 Equipo

Se debe utilizar el mismo equipo que se especifica en las Normas UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN 772-11:2001/A1:2006, teniendo en cuenta que la estufa que se utilice ha de ser capaz de mantener una temperatura de $70\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

8.5.3 Procedimiento

Se debe seguir el mismo procedimiento que el indicado en la Norma UNE-EN 772-11:2001 y UNE-EN-772-11:2001/A1:2006, pero el secado será a 70 °C y el tiempo de inmersión será de 10 min ($\pm 0,2\text{ min}$).



Leyenda

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| 1 Depósito (nivel constante) | 4 Agua potable |
| 2 Bloque | 5 Soportes regulables |
| 3 Cubeta | |

Figura 7 – Capilaridad. Esquema del ensayo (informativo)

8.5.4 Resultados

Se deben seguir las prescripciones de la Norma UNE-EN 772-11:2001 / y UNE-EN-772-11:2001A1:2006, con las apreciaciones siguientes:

- Para los bloques que presentan un dibujo regular sobre las dos caras, se tendrá en cuenta la superficie desarrollada.
- En los demás casos, no se tendrán en cuenta las irregularidades de la superficie en el cálculo del área.

ANEXO A (Informativo)

USO Y DURABILIDAD

A.1 Uso del BTC

Las piezas de BTC pueden ser utilizadas en aplicaciones de distinta naturaleza, debiendo exigirse para cada una de ellas las prestaciones adecuadas. En caso de que la aplicación sea novedosa, será el responsable del diseño de la construcción quien especifique las prestaciones mínimas exigibles.

Las aplicaciones particulares son las siguientes:

- Fábrica común: aquella que se emplea en exteriores o interiores, sin un fin estético, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica protegida: aquella que se emplea en exteriores o interiores, protegida frente a la penetración de agua, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica para revestir: aquella que se emplea en exteriores o interiores, que se recubrirá de una capa protectora adecuada, pudiendo ser portante o no.
- Fábrica vista: aquella que se emplea, con un fin estético, en exteriores o interiores, pudiendo ser portante o no. Constituida por piezas cuyo acabado sea atractivo, emplea sistemas de montaje y acabados con juntas de mortero adecuados a este tipo de piezas.
- Fábrica estructural: Aquella que se utiliza en exteriores o interiores, capaz de soportar cargas, además de su peso propio. Puede ser vista, común o revestida. Se considera que la fábrica de BTC, por sí sola, no posee capacidad resistente ante acciones sísmicas.

Los muros de fábrica tienen que garantizar prestaciones específicas ante los casos de incendio y ofrecer buen aislamiento acústico y térmico. Si fuera necesario se especificarán estas prestaciones en notas adicionales.

Los bloques de BTC tendrán que superar las condiciones de exposición locales para asegurar tanto la integridad estructural como la funcionalidad de la obra.

A.2 Durabilidad

Ante la actual inexistencia de códigos europeos de buena práctica que sirvan de guía para la ejecución de las obras con garantías de asegurar la durabilidad en servicio de la fábrica terminada, se proponen a continuación una serie de recomendaciones para la resistencia a los ciclos de hielo/deshielo y el contenido en sulfatos en condiciones de servicio, incluyendo el grado de exposición y el riesgo de saturación.

A.2.1 Resistencia al hielo/deshielo

Sería recomendable especificar el grado de resistencia al hielo/deshielo para el BTC, tras haber evaluado el grado de exposición al que se someterá la pieza, incluyendo la protección frente a la saturación de la fábrica.

El grado de exposición al hielo/deshielo sirve para definir el riesgo al que se ve sometida la fábrica ante la combinación de un contenido elevado de agua y la incidencia de ciclos de hielo/deshielo, teniendo en cuenta el diseño de la construcción. Los parámetros que se han de tener en cuenta a la hora de definir dicho riesgo son la temperatura y la humedad. Así, se pueden definir tres clases de exposición: severa, moderada y baja.

Sería recomendable evaluar la influencia de los posibles revestimientos superficiales que se empleen para proteger la fábrica. Un revestimiento superficial puede originar un incremento de las exigencias de construcción en zonas de clima costero templado.

A título informativo, se proponen los siguientes ejemplos de grado de exposición:

- Fábrica sometida a exposición severa: fábrica sin revestir, próxima al nivel del terreno (aproximadamente dos hiladas por encima) y chimenea de fábrica, cuando pueda existir riesgo combinado de saturación de agua y helada; coronaciones, cornisas y antepechos en zonas donde exista riesgo de helada; muros de cierre y muros pantalla cuando la pared no esté provista de un revestimiento.
- Fábrica sometida a exposición moderada: se pueden tomar una serie de medidas preventivas que moderen el riesgo de saturación de la fábrica, tales como protección de las coronaciones de muro por medio de albardillas o aleros, protección de alféizares de ventana con vierteaguas, membranas impermeables en la coronación y en la base de fachadas ventiladas.
- Fábrica sometida a exposición baja: fábrica de muros exteriores protegida mediante un revestimiento adecuado a las condiciones climáticas locales, fábrica de muros interiores y las hojas interiores de muros capuchinos.

A.2.2 Acción de los sulfatos en piezas de BTC, morteros y revestimientos

La acción negativa de los sulfatos en fábricas de BTC deriva del uso del cemento Portland como constituyente de las piezas (estabilizante) o como mortero de unión de las piezas o como constituyente del revestimiento de la fábrica.

Resulta recomendable declarar la categoría de contenido en sales solubles activas de las piezas, del mortero y del revestimiento (si existe), para asegurar que no aparezca deterioro de los mismos en las condiciones particulares de uso.

Las tres categorías dadas en la tabla A.1 especifican los contenidos máximos recomendables de sulfatos (de sodio, potasio y magnesio) de las piezas, para las condiciones particulares de uso. Dichos contenidos se determinarán según la Norma UNE-EN 772-5:2002.

Las condiciones de uso quedan definidas a través del riesgo de saturación de agua, que se puede deducir de las categorías de exposición al hielo/deshielo (véase A.2.1).

S2: piezas, mortero o revestimiento con cemento Portland ordinario, sometidos a una posible saturación prolongada.

S1: piezas o mortero sometidos a una exposición moderada, protegidos debido al diseño detallado de la construcción. Mortero o revestimientos con cemento Portland resistente a los sulfatos sometidos a una posible saturación prolongada.

S0: fábrica completamente protegida contra la penetración de agua.

Tabla A.1 – Categorías según el contenido en sales solubles activas

Categoría	Contenido total en masa (%), no mayor de:	
	Na ⁺ + K ⁺	Mg ²⁺
S0	Sin exigencia	Sin exigencia
S1	0,17	0,08
S2	0,06	0,03

NOTA Cuando el uso del producto prevea una protección completa contra la penetración de agua (por ejemplo, capa gruesa de enlucido, pared interior de un muro capuchino, muros interiores) no hay requisitos en cuanto al contenido en sales solubles activas (categoría S0).

ANEXO B (Informativo)**AGUA DE AMASADO DE MORTEROS Y DE FABRICACIÓN DE LOS BTC**

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberían analizarse las aguas que se utilicen para amasar los morteros a base de cemento o aquellas que se utilicen para fabricar los BTC en los que el cemento está entre sus constituyentes a modo de estabilizante. El análisis de las aguas se realizará según las normas siguientes:

Norma UNE 7132:1958

Norma UNE 7178:1960

Norma UNE 7235:1971

Norma UNE 83951:2008

Norma UNE 83952:2008

Norma UNE 83956:2008

Los requisitos recomendables para las aguas analizadas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al mortero o al BTC, son los siguientes:

- $\text{pH} \geq 5$, determinado según la Norma UNE 83952:2008.
- Sulfatos, $(\text{SO}_4^{2-}) \leq 1 \text{ g/l}$ (1 000 p.p.m), determinados según la Norma UNE 83953:2008.
- Ión cloruro, $(\text{Cl}^-) \leq 3 \text{ g/l}$ (3 000 p.p.m), determinado según la Norma UNE 7178:1960 (sólo para fábrica de BTC armada con acero).
- Hidratos de carbono = 0, determinados según la Norma UNE 7132:1958.
- Sustancias orgánicas solubles en éter $\leq 15 \text{ g/l}$ (15 000 p.p.m), determinadas según la Norma UNE 7235:1971.

ANEXO C (Informativo)**ESTABILIZACIÓN**

Esta norma contempla varios métodos de estabilización del BTC. A continuación se recogen algunas recomendaciones.

C.1 Criterios de elección de estabilizantes

Para decidirse por un método correcto de estabilización, se recomienda reunir suficiente información sobre los estabilizantes disponibles mediante una serie de criterios:

- Disponibilidad regional: se preferirán los productos cercanos.
- Minimización del impacto ambiental, realizándolo a partir del análisis del ciclo de vida del estabilizante: consumo mínimo de energía, agua y recursos renovables; emisión mínima de sustancias tóxicas al entorno desde su extracción, fabricación, transporte, aplicación y vida útil.
- Procesos tecnológicos apropiados a la puesta en obra y al mantenimiento.
- Evaluación económica.

C.2 Estabilidad de la tierra

Se entiende por una tierra estable aquella que presenta buena resistencia a la deformación y es poco sensible a la presencia de agua.

La utilización de estabilizantes es básica para la obtención de un material de calidad que resuelvan las posibles carencias del material tierra disponible.

Hay diferentes tipos de estabilización, agrupados según la acción que ejerzan sobre el material tierra. Estas acciones son:

- Química: cuando lo que añade es un producto que modifica la estructura granular a la que dota de una cohesión que no tenía o disminuye la excesiva plasticidad.
- Física: el estabilizante mejora las propiedades físicas de la tierra.
- Mecánica: una acción mecánica aumenta la compacidad del material. Ésta puede ser: estática, dinámica o mixta (proyección, amasado). La eficacia de este sistema depende de la granulometría, el grado de compactación y del grado de humedad de la mezcla. Normalmente la estabilización mecánica se consigue por compactación del suelo.

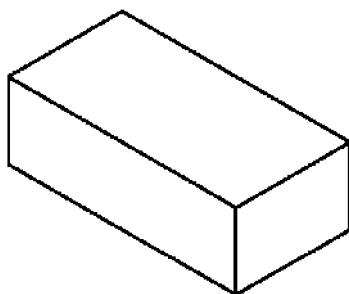
Ejemplos de estabilizantes químicos:

- Aceites naturales: Coco, savia de caucho, savias naturales, látex, prensado de oliva, etc.
- Silicatos de sosa y orina.
- Cal viva o apagada.
- Resinas acrílicas.
- Etilsilicatos, el hidróxido de Bario, ácido húmico y ácido tánico.
- Yema de huevo.

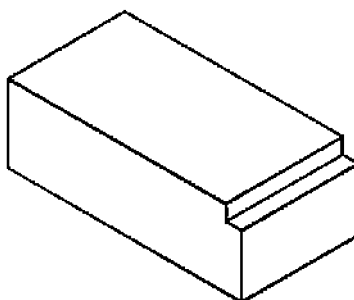
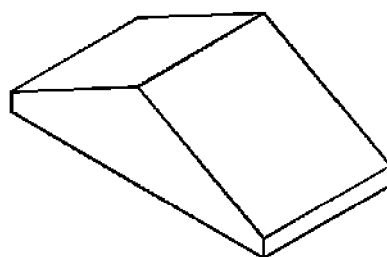
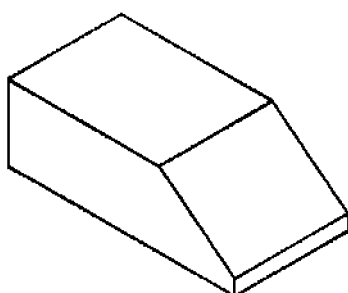
- Productos puzolánicos.
- Cementos.
- Yesos.
- Resinas.

Ejemplos de estabilizantes físicos:

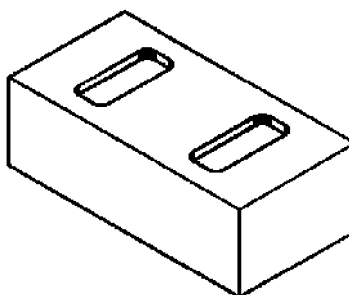
- Estabilización granulométrica: se realiza con la mezcla de suelos naturales, utilizándose normalmente una combinación binaria de suelos.
- Estabilización con fibras: crea un armazón interno, lo que aporta una mejora en el reparto de las tensiones en la matriz terrosa, pudiendo incrementar la resistencia a flexión y a cortante, y ayudando a evitar la retracción.

ANEXO D (Informativo)**EJEMPLOS DE DIFERENTES FORMAS DE BLOQUES**

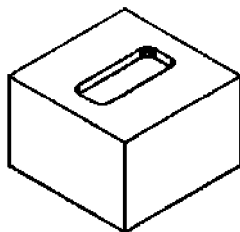
a) Bloque macizo



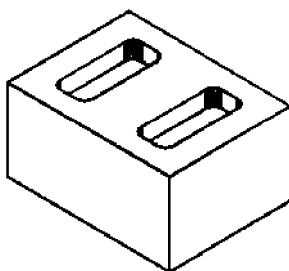
b) Piezas especiales macizas



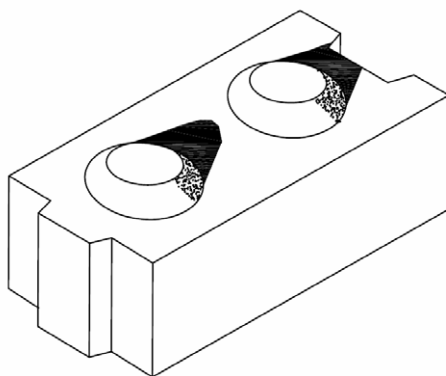
c) Bloque macizo con rebaje entero



d) Bloque macizo con rebaje medio



e) Bloque macizo con rebaje tres cuartos



f) Bloque Mattone

Figura D.1 – Ejemplos de diferentes formas de bloques

BIBLIOGRAFÍA

RCA-92. *Instrucción para la Recepción de Cales en obras de estabilización de suelos, (Orden de 18 de diciembre de 1992).*

RC-08. *Instrucción para la recepción de cementos, (R.D. 956/2008, de 6 de junio).*

Código Técnico de la Edificación (RD 1351/2007 de 19 de octubre).

UNE 7132:1958 *Determinación cualitativa de hidratos de carbono en aguas de amasado para morteros y hormigones.*

UNE 7178:1960 *Determinación de los cloruros contenidos en el agua utilizada para la fabricación de morteros y hormigones.*

UNE 7235:1971 *Determinación de los aceites y grasas contenidos en el agua de amasado de morteros y hormigones.*

UNE 83951:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Toma de muestras.*

UNE 83952:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del pH. Método potenciométrico.*

UNE 83956:2008 *Durabilidad del hormigón. Aguas de amasado y aguas agresivas. Determinación del contenido en ion sulfato.*

UNE 103100:1995 *Preparación de muestras para ensayos de suelos.*

UNE-EN 771-1:2003 *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Piezas de arcilla cocida.*

UNE-EN 771-3:2004 *Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros).*

UNE-EN 772-5:2002 *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 5: Determinación del contenido en sales solubles activas en las piezas de arcilla cocida para albañilería.*

UNE-EN 13501-1:2007 *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.*

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

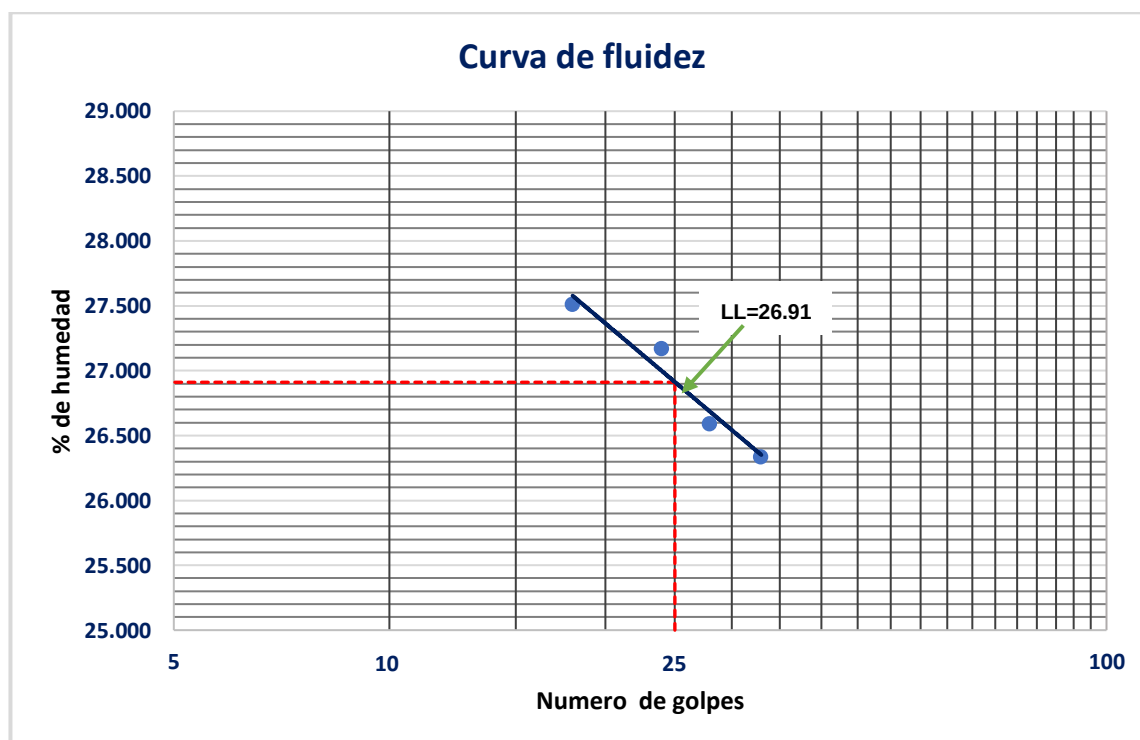
Anexo 2 Límites de consistencia del Suelo + 10% Cal Hidratada

Tabla 37 Límite líquido del Suelo + 10 % Cal Hidratada

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de golpes	18	24	28	33
Tara N°	J-01	LS-4	DF-01	J-05
Peso de tara (gr)	22	22.1	22	21.7
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	51.2	55.8	55.8	57.2
Peso de muestra seca más tara (grs)	44.9	48.6	48.7	49.8
Peso de agua (grs)	6.3	7.2	7.1	7.4
peso seco (grs)	22.9	26.5	26.7	28.1
Contenido de humedad (%)	27.511	27.170	26.592	26.335

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 20 Curva de Fluidez del Suelo + 10 % Cal Hidratada



Fuente: Elaboración propia

Tabla 38 Límite plástico del Suelo + 10 % Cal Hidratada

Ensayo N°	1	2
Tara N°	A-05	A-03
Peso de tara (g)	21.9	21.9
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	41.2	46.2
Peso de muestra seca más tara (grs)	38.2	42.2
Peso de agua (grs)	3	4
peso seco (grs)	16.3	20.3
Contenido de humedad (%)	18.405	19.704
Límite plástico (%)	19.055	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39 Índice de plasticidad del Suelo + 10 % Cal Hidratada

IP	7.855
----	-------

Fuente: Elaboración propia

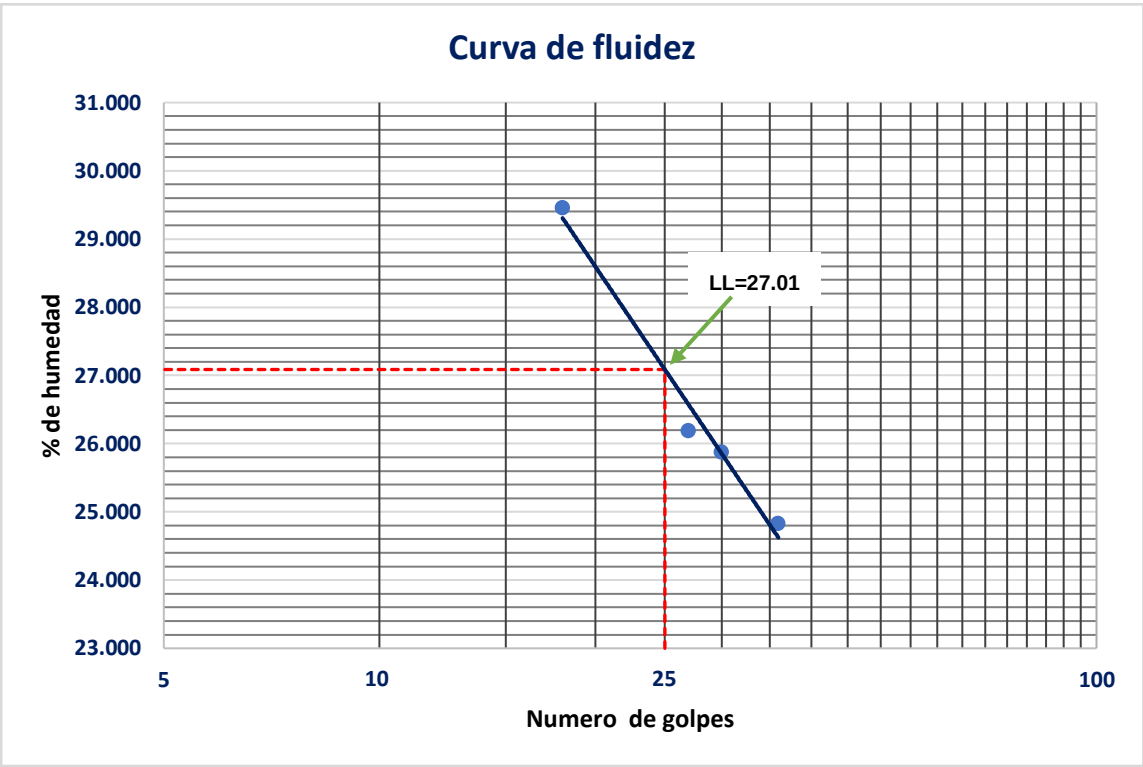
Anexo 3 Límites de consistencia del Suelo + 15% Cal Hidratada

Tabla 40 Límite líquido del Suelo + 15 % Cal Hidratada

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de golpes	18	27	30	36
Tara N°	H-9	LS-7	D-03	D-10
Peso de tara (gr)	21.7	21.2	22	21
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	55.1	53	58	57.2
Peso de muestra seca más tara (grs)	47.5	46.4	50.6	50
Peso de agua (grs)	7.6	6.6	7.4	7.2
peso seco (grs)	25.8	25.2	28.6	29
Contenido de humedad (%)	29.457	26.190	25.874	24.828

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 21 Curva de Fluidez del Suelo + 15 % Cal Hidratada.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 41 Límite plástico del Suelo + 15 % Cal Hidratada

Ensayo N°	1	2
Tara N°	A-61	H-3
Peso de tara (g)	21.9	21.1
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	36.9	39.1
Peso de muestra seca más tara (grs)	34.2	35.8
Peso de agua (grs)	2.7	3.3
peso seco (grs)	12.3	14.7
Contenido de humedad (%)	21.951	22.449
Límite plástico (%)	22.200	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42 Índice de plasticidad del Suelo + 15 % Cal Hidratada

IP	4.810
----	-------

Fuente: Elaboración propia

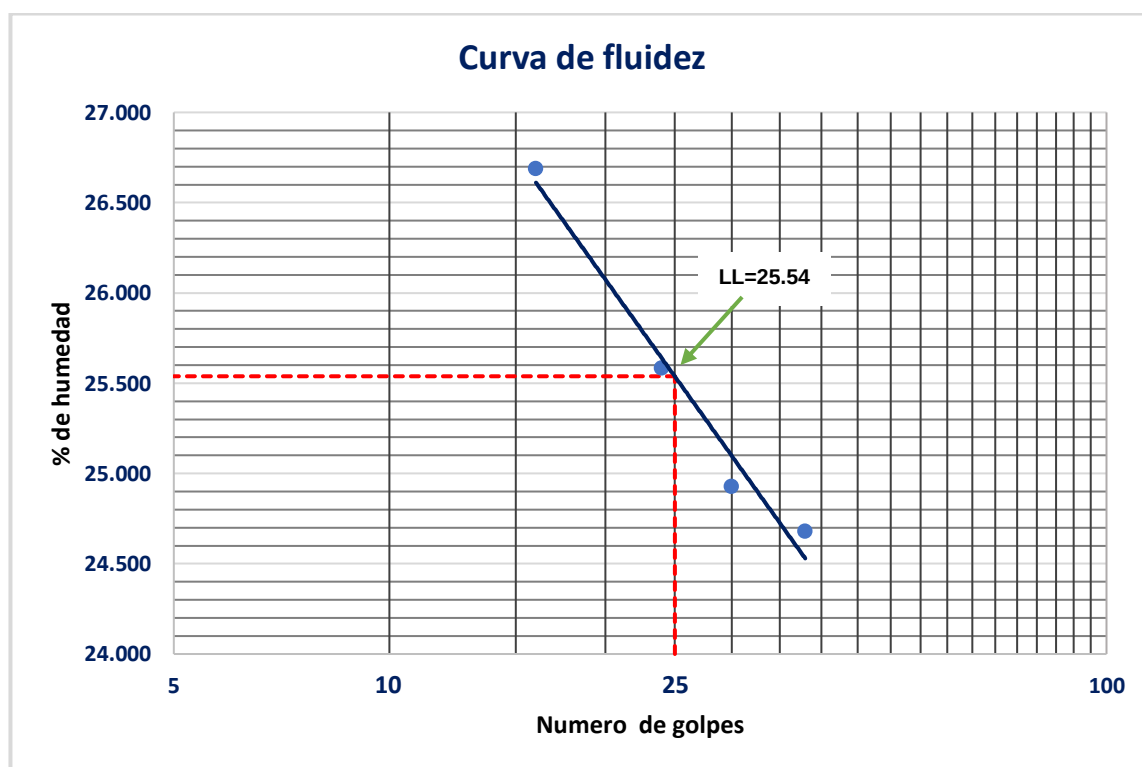
Anexo 4 Límites de consistencia del Suelo + 10 % Cemento GU

Tabla 43 Límite líquido del Suelo + 10 % Cemento GU

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de golpes	16	24	30	38
Tara N°	D-07	H-6	A-07	J-05
Peso de tara (gr)	21.8	21.7	22	21.6
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	65	59.5	65.1	70.1
Peso de muestra seca más tara (grs)	55.9	51.8	56.5	60.5
Peso de agua (grs)	9.1	7.7	8.6	9.6
peso seco (grs)	34.1	30.1	34.5	38.9
Contenido de humedad (%)	26.686	25.581	24.928	24.679

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 22 Curva de Fluidez del Suelo + 10 % Cemento GU



Fuente: Elaboración propia

Tabla 44 Limite plástico del Suelo + 10 % Cemento GU

Ensayo N°	1	2
Tara N°	J-01	DF-01
Peso de tara (g)	22	21.9
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	62.3	63
Peso de muestra seca más tara (grs)	56.3	56.6
Peso de agua (grs)	6	6.4
peso seco (grs)	34.3	34.7
Contenido de humedad (%)	17.493	18.444
Limite plástico (%)	17.968	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45 Índice de plasticidad del Suelo + 5 % Cemento GU

IP	7.572
----	-------

Fuente: Elaboración propia

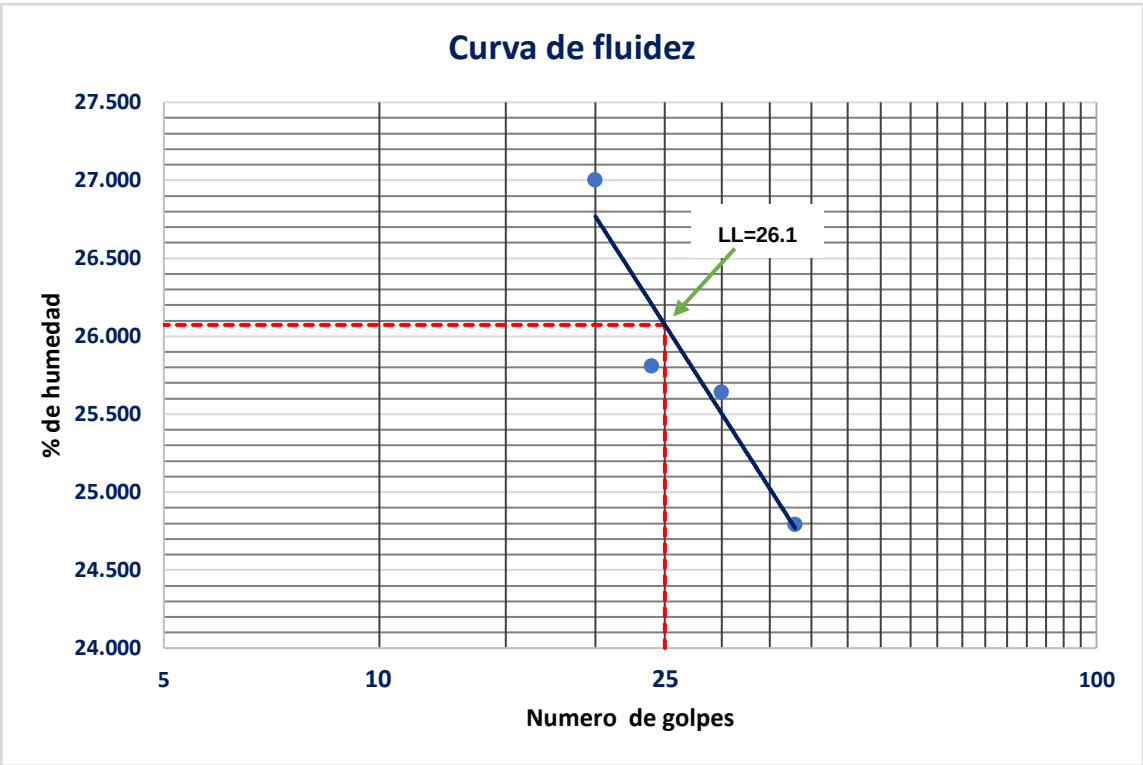
Anexo 5 Límites de consistencia del Suelo + 15 % Cemento GU

Tabla 46 Límite liquido del Suelo + 15 % Cemento GU

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de golpes	20	24	30	38
Tara N°	A-04	A-03	LS-7	J-03
Peso de tara (gr)	21.6	22	21.4	21.3
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	47	49.3	50.8	51.5
Peso de muestra seca más tara (grs)	41.6	43.7	44.8	45.5
Peso de agua (grs)	5.4	5.6	6	6
peso seco (grs)	20	21.7	23.4	24.2
Contenido de humedad (%)	27.000	25.806	25.641	24.793

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 23 Curva de Fluidez del Suelo + 10 % Cemento GU



Fuente: Elaboración propia

Tabla 47 Limite plástico del Suelo + 15 % Cemento GU

Ensayo N°	1	2
Tara N°	H-1	H-9
Peso de tara (g)	21.9	21.6
Peso de muestra húmeda más tara (grs)	62.4	58
Peso de muestra seca más tara (grs)	56	52
Peso de agua (grs)	6.4	6
peso seco (grs)	34.1	30.4
Contenido de humedad (%)	18.768	19.737
Limite plástico (%)	19.253	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48 Índice de plasticidad del Suelo + 15 % Cemento GU

IP	6.847
----	-------

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6 Ficha técnica de Cemento tipo GU marca Holcim

Holcim (Nicaragua) S.A. cuenta con un Sistema de Gestión Integrado (SGI) de Calidad y Ambiente.

Nuestras Operaciones en Planta Nagarote están certificadas según las Normas:

ISO-9001:2015 Gestión de Calidad.

ISO-14001:2015 Gestión de Medio Ambiente.

Resultado Cemento Tipo GU (Fuerte)

Características Físicas	Mínimo	Máximo	NTON 12 006-11
Peso Volumétrico (g/ml)	1.21	1.21	-----
Densidad (g/ml)	2.91	2.91	-----
Fraguado inicial (min)	120	180	45 (Mínimo)
Fraguado final (min)	240	280	420 (Máximo)
Consistencia normal (%)	27.1	30.0	-----
Finura Blaine (cm ² /g)	3330	4020	-----
Retenido malla 325 (%)	13.7	14.0	-----
Cambio de longitud en autoclave	0.0	0.2	0.8 (Máximo)

Resistencia a la compresión MPa*	Promedio	Mínimo
1 día	6.9	-
3 días	13.4	10
7 días	19.8	17
28 días	31.9	25

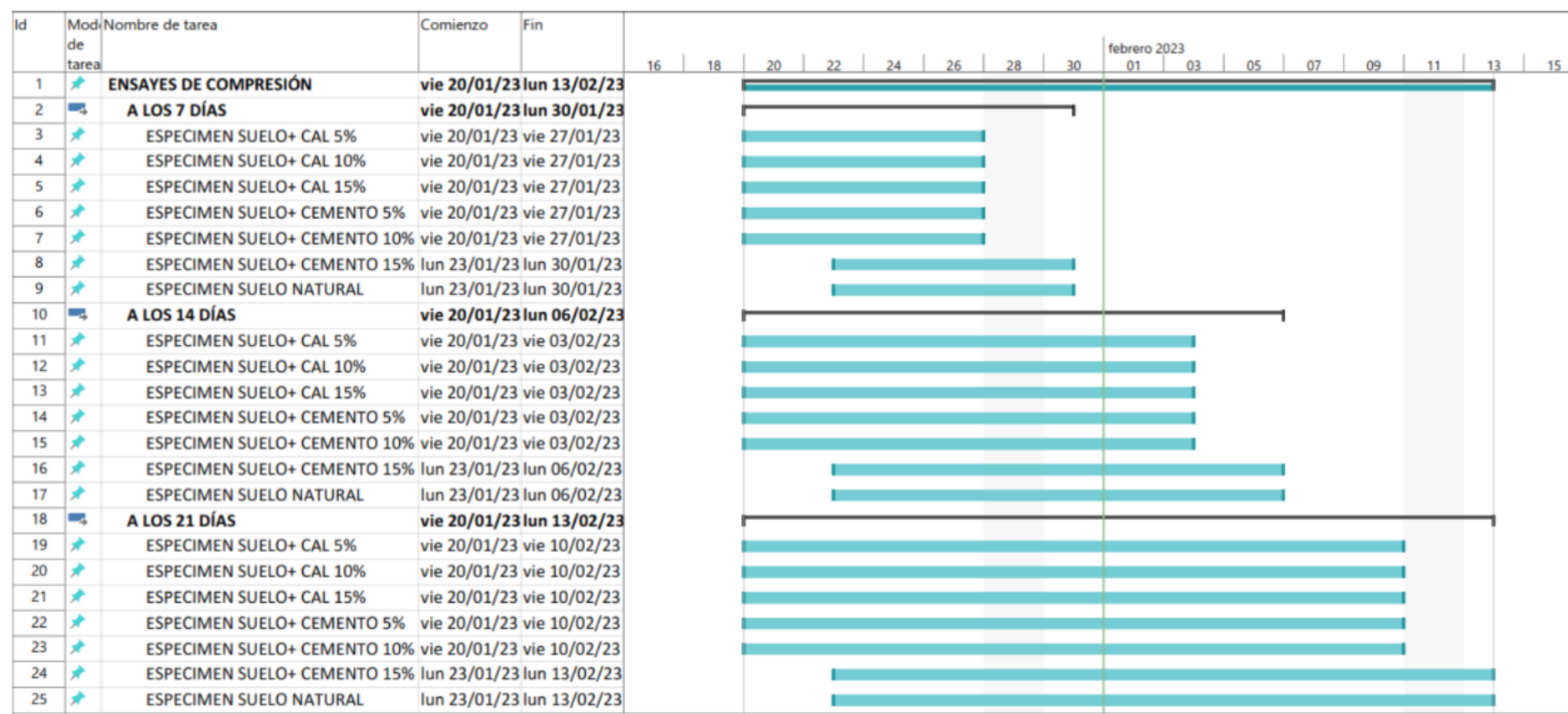
Características Químicas**	% Peso Promedio	No especifica
SiO ₂	31.3	-
Al ₂ O ₃	6.5	-
Fe ₂ O ₃	3.7	-
CaO	45.7	-
MgO	1.5	-
SO ₃	2.4	-
P.Ig	1.5	-
Na ₂ O	0.6	-
K ₂ O	0.7	-
R.I	24.0	-
CaOlibre	0.8	-

*Los resultados de resistencias a la compresión en las edades de 1, 3, 7 y 28 pertenecen al promedio de Perido del reporte, detallado en la parte superior. Ensayos según la Norma ASTM C109.

**Los porcentajes de Óxidos presentados en este informe se realizan de acuerdo a la Norma ASTM C114, por medio de fluorecencia de Rayos X por fusión de la muestra con Tetraborato de Litio.

Anexo 7 Cronograma de ensayos de compresión de probetas

Figura 45 Cronograma de ensayos de resistencia a la compresión de probetas.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8 Prensa de accionamiento manual para fabricar bloques de tierra comprimida (BTC).

El pistón posee dos piezas tubulares que encajan y deslizan sobre sendas columnas atornilladas a la base. El dispositivo de palanca activa el pistón, tanto para comprimir el bloque de tierra, como para expulsarlo.

La máquina consiste en un molde metálico, dentro del cual la mezcla de tierra y cemento es compactada mediante un pistón accionado por un mecanismo de palancas. Al accionar la palanca en sentido inverso, el mismo pistón expulsa el bloque. La compresión que se obtiene es suficiente para moldear un bloque que, una vez curado y estacionado, estará listo para ser empleado como piezas de mampostería.

Características

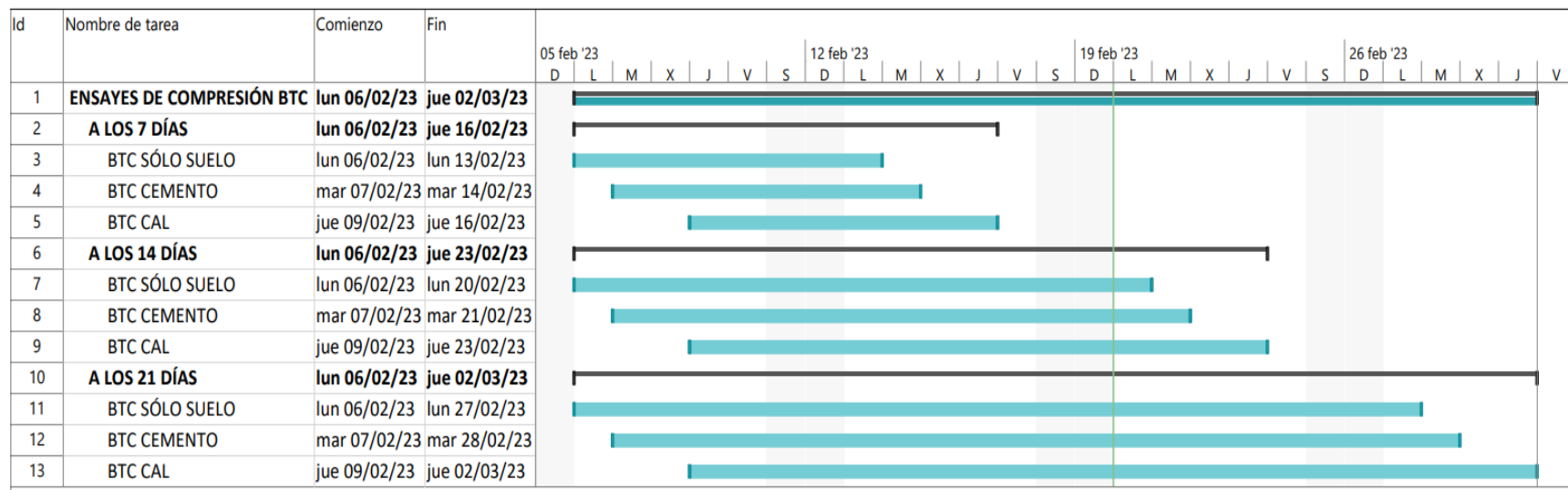
- La máquina Cinva Ram produce de 70 a 150 bloques/hora.
- La caja-molde permite la inserción de piezas de madera específicos para la realización de bloques huecos y bloques con otras dimensiones.
- La máquina pesa aproximadamente 100 kg, lo que permite un fácil transporte y desplazamiento.
- La tapadera del molde se abre y se gira 90° en un plano horizontal.
- Fuerza por aplicar en la palanca: 80 libras (36 kilos).
- Dimensiones del BTC que fabrica: (30X15X10 cm).
- Ciclo de prensado: 20 segundos.

Mantenimiento

Limpiar la máquina después de cada jornada y lubricar las partes móviles aplicándoles aceite con una brocha.

Anexo 9 Cronograma de Ensayes de compresión de los BTC.

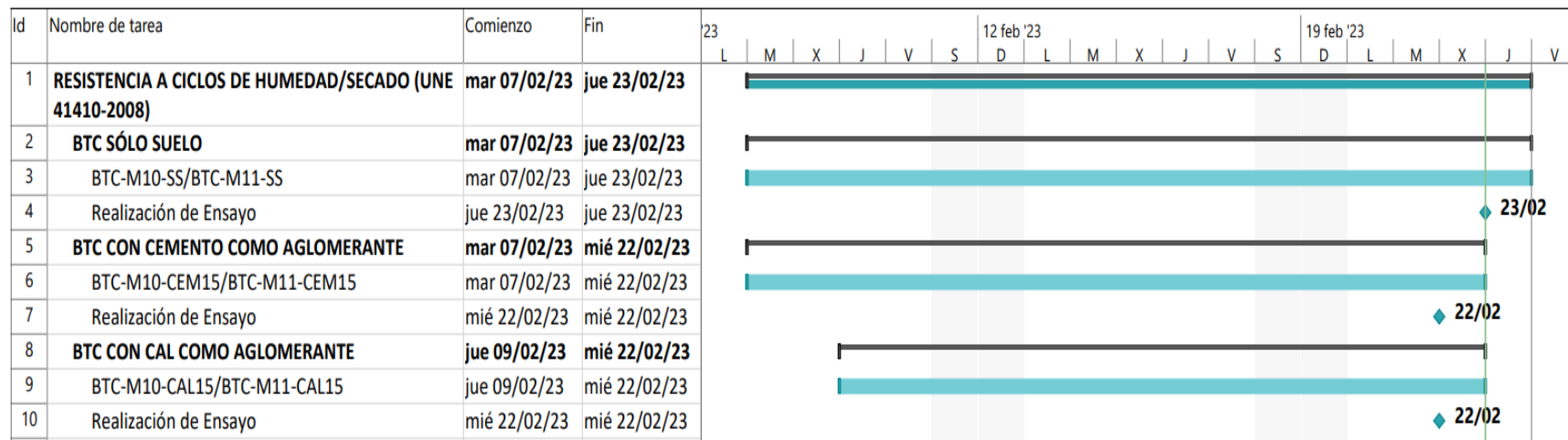
Figura 46 Cronograma de ensayos de resistencia a la compresión de los BTC.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10 Cronograma de Ensayes Resistencia a los ciclos de humedad/secado (UNE 51410-2008). BTC

Figura 47 Cronograma de ensayos de ciclos de humedad/secado de los BTC.



Fuente: Elaboración propia.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

CRUZ BENAVIDEZ EDDY JOSÉ

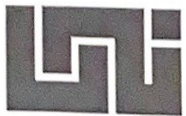
Carné: **2015-0296I** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los once días del mes de enero del año dos mil veinte y tres.

Atentamente,

**MSc. Ana Rosa López Olivas
Secretario de Facultad**





Secretaría
de Facultad | FTC

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

GUILLEN VALLEJOS MARIA ALEJANDRA

Carné: 2015-0167U Turno: **Nocturno** Plan de Asignatura: **97-15** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los once días del mes de enero del año dos mil veinte y tres.

Atentamente,



MSc. Ana Rosa López Olivas
Secretario de Facultad



Teléfono: (505) 8574 0824



Recinto Universitario Pedro Aráuz Palacios
Costado Sur de Villa Progreso,
Managua, Nicaragua.



ana.lopez@ftc.uni.edu.ni
www.ftc.uni.edu.ni



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

RUIZ REYES MILCIA MERCEDES

Carné: **2016-0354I** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los once días del mes de enero del año dos mil veinte y tres.

Atentamente,

MSc. Ana Rosa López Olivas
Secretario de Facultad

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 11-ene.-2023



HOJA DE MATRICULA

AÑO ACADEMICO 2023

No. Inscripción **3**

FECHA: 11/01/2023

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

ISOZA

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 11-ene.-2023



No. Recibo 21244		No. Inscripción 2				
NOMBRES Y APELLIDOS: Milcia Mercedes Ruiz Reyes						
CARRERA: INGENIERIA CIVIL		CARNET: 2016-0354i		TURNO:		
PLAN DE ESTUDIO: 2015		SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE 2023		FECHA: 11/01/2023		
No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 11-ene.-2023