



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

Trabajo de Grado

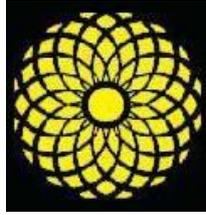
**DETERMINACION DE ÍNDICE DE PUZOLANIDAD DEL
CAOLÍN CALCINADO COMO SUSTITUTO DE LA
PUZOLANA NATURAL EN LA INDUSTRIA
CEMENTERA**

MARÍA ROSA CAMPAYA

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Grado
de Licenciado en Ciencias-Mención Geología

SAN LORENZO – PARAGUAY

JULIO – 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Geología
Trabajo de Grado

**DETERMINACION DE ÍNDICE DE PUZOLANIDAD DEL
CAOLÍN CALCINADO COMO SUSTITUTO DE LA
PUZOLANA NATURAL EN LA INDUSTRIA
CEMENTERA**

MARÍA ROSA CAMPAYA

Orientador: **PROF. DRA. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI**

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del Grado
de Licenciado en Ciencias-Mención Geología

SAN LORENZO – PARAGUAY
JULIO – 2019

**DETERMINACION DE ÍNDICE DE PUZOLANIDAD DEL CAOLÍN
CALCIANDO COMO SUSTITUTO DE LA PUZOLANA NATURAL
EN LA INDUSTRIA CEMENTERA**

Autora: MARIA ROSA CAMPAYA
Orientadora: Prof. Dra. ANA MARÍA CASTILLO CLERICI

Trabajo de Grado presentado a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención de la
Licenciatura Ciencias Mención Geología.

Fecha de aprobación: de julio de 2019

COMITÉ ASESOR DE TRABAJO DE GRADO

MIEMBROS:

Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici
Universidad Nacional de Asunción

Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba
Universidad Nacional de Asunción

Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín
Universidad Nacional de Asunción

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre Rosa María Campaya por acompañarme incansablemente en todo momento de mi vida y principalmente en este gran paso.

A mi hermano José Vinício Campaya por ser mi más leal amigo, consejero y el mejor chofer.

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos especiales van dirigidos para la Prof. Dra. Ana María Castillo Clerici por orientarme en todo momento.

A la Industria Nacional del Cemento por permitirme realizar una pasantía y por medio de ella utilizar sus laboratorios para realizar mi trabajo.

A Don Edgar Delgadillo por su valioso conocimiento y ayuda para realizar los ensayos físicos requeridos para obtener mis resultados y quien también fue mi jefe en el laboratorio. A la Lic. Gloria Santacruz por su ayuda al realizar los ensayos químicos y a mis queridos compañeros y amigos Mendy Villalba, Nicolás Delgadillo, Pedro Benítez que mediante su gran ayuda pude culminar satisfactoriamente con los ensayos necesarios para este trabajo.

Al Prof. Lic. Juan Carlos Ovelar por guiarme y tener la mejor predisposición al momento de requerí de su ayuda y opinión.

A la Prof. Lic. Ana Godoy, por las recomendaciones y revisión de este trabajo.

A la Lic. Romina Celabe, y a la Lic. Adriana García, por la ayuda, paciencia en la corrección y elaboración de este trabajo. A mis compañeros Hugo Ayala por acompañarme en las visitas al campo y Mirian Almada por ayudarme en la elaboración de los mapas.

Y a todos mis profesores, compañeros y amigos por acompañame en estos largos, pero lindos años de carrera.

DETERMINACION DE ÍNDICE DE PUZOLANIDAD DEL CAOLÍN CALCINADO COMO SUSTITUTO DE LA PUZOLANA NATURAL EN LA INDUSTRIA CEMENTERA

Autora: MARIA ROSA CAMPAYA

Orientador: PROF. DRA. ANA MARIA CASTILLO CLERICI

RESUMEN

En este trabajo de investigación se estudió al caolín calcinado como sustituto a la puzolana natural para la industria cementera. Se realizaron ensayos físicos y químicos de ambos materiales para determinar el índice de puzolanidad conforme a las normas ASTM. C-618-70.

La Puzolana y el Caolín son materiales utilizados a nivel industrial en todo el mundo para diversas aplicaciones, la puzolana como aditivo en la fabricación de un tipo de cemento y el caolín en la fabricación de cerámicas, entre otros usos. El caolín calcinado es un material cementante suplementario, dado que es un aluminosilicato activado térmicamente que a una cierta temperatura se produce una transformación de su estructura cristalina, en consecuencia, este material adquiere características similares al de la puzolana natural, las que pueden ser aprovechadas por las industrias cementeras. El objetivo principal del trabajo fue determinar y comparar el índice de puzolanidad del caolín, siendo este calcinado a 900° durante dos horas y el de la puzolana natural. Los resultados obtenidos en los ensayos dan cifras satisfactorias al determinar el índice de puzolanidad del caolín calcinado.

Palabras Claves: Puzolana, Caolín, índice de puzolanidad.

DETERMINACION DE ÍNDICE DE PUZOLANIDAD DEL CAOLÍN CALCINADO COMO SUSTITUTO DE LA PUZOLANA NATURAL EN LA INDUSTRIA CEMENTERA

Author: MARIA ROSA CAMPAYA

Advisor: PROF. DR. ANA MARIA CASTILLO CLERICI

SUMMARY

In this research paper, calcined kaolin was studied as a substitute for natural puzolana for the cement industry. Physical and chemical tests of both materials were performed to determine the rate of puzolanity in accordance with ASTM standards. C-618-70.

Puzolana and Kaolin are materials used industrially worldwide for various applications, puzolana as an additive in the manufacture of a type of cement and kaolin in the manufacture of ceramics, among other uses. Calcinated kaolin is a supplementary cementing material, since it is a thermally activated aluminosilicate that at a certain temperature results in a transformation of its crystalline structure, consequently this material acquires characteristics similar to that of natural puzolana, which can be exploited by the cement industries. The objectives of the work were to determine and compare the rate of puzolanity of calcinized kaolin at 900 °C for two hours with that of natural puzolana. The results obtained in the tests give satisfactory figures when determining the puzolanity index of calcinated kaolin.

Keywords: Puzolana, Kaolin, puzolanity index.

INDICE

	Páginas
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Hipótesis	4
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes	5
2.1.1 Puzolana.....	5
2.1.2 Caolín.....	6
2.2 Aglomerado.....	7
2.3 Las Resistencias	7
2.4 Propiedades Hidráulicas.....	7
2.5 Hidróxido de calcio	8
2.6 La Puzolana.....	8
2.6.1 Origen	8
2.6.1.1 Puzolanas Naturales.....	8
2.6.1.2 Puzolanas Artificial.....	9
2.6.2 Usos de la Puzolana	10
2.7 Caolín.....	10
2.7.1 Origen	11
2.7.2 Usos del caolín.....	11
2.8 Características del área de estudio	11
2.8.1 Área de estudio Puzolana.....	11
2.8.2 Área de Estudio Caolín	12
2.8.3 Suelo	13
2.8.4 Hidrografía.....	14
2.8.5 Clima y Vegetación.....	15
3 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	17
3.1 Geología Regional	17
3.1.1 Puzolana Ybytymí.....	17

3.1.2	Caolín Itauguá	18
3.2	Métodos.....	20
3.2.1	Trabajo de Campo.....	21
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1	Resultados	38
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1	Conclusión	40
5.2	Recomendaciones	40
ANEXO	42
A.	Norma dada por el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología	43
B.	Fotografías tomadas del Área de Estudio.	46
B.1.	Perfil del afloramiento puzolánico.	46
B.2.	Material puzolánico.	46
B.3.	Acceso a la cantera Vargas Peña.	47
B.4.	Material Caolinítico.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
1	Localización del área de estudio Cantera Yvytymí.....12
2	Localización del área de estudio Cantera Vargas Peña.....13
3	Trituradora empleada para reducir el tamaño de las muestras.....21
4	Molino de disco utilizado para disminuir el tamaño de los materiales obtenidos de la trituradora.....22
5	Mufla de calcinación (hasta 900°C) para muestras de caolín.....22
6	Crisoles conteniendo caolín sin calcinar y caolín calcinado.....23
7	Proceso de tamización de caolín calcinado y puzolana para determinar el índice de puzolanidad.....23
8	Frasco de Le Chatelier utilizado para obtener la densidad de cada material.....25
9	Pesado de materiales para su posterior mezcla.....27
10	Maquina mezcladora de homogenización para la pasta.....28
11	Moldeado de la mezcla del cemento patrón.....28
12	Moldes prismáticos de cemento patrón, cemento patrón con puzolana y cemento patrón con caolín calcinado.....29
13	Probetas llevadas a la estufa durante 28 días para la determinación del índice de puzolanidad.....29

LISTA DE TABLAS

	Páginas
1 Granulometría de Arena Normalizada.....	26
2 Análisis químico de Puzolana y Caolín calcinado.....	37

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

IP: Índice de Puzolanidad

MPa: Megapascal

KN: Kilonewtons

INTN: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología

INC: Industria Nacional Del Cemento

Cm: Centímetros

µm: Micra

1. INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción existen una gran variedad de materiales como la cerámica, madera, acero, entre otros, pero uno de ellos el cemento es el principal elemento de la construcción a nivel mundial. El mismo es utilizado en la gran mayoría de la construcción desde la antigüedad hasta nuestros días.

En la historia de la civilización humana el descubrimiento de los materiales y de las acciones cementantes fue posterior al descubrimiento del fuego y debió ser poco posterior al descubrimiento de la cerámica Calleja, 1968 citado por Salazar, (2002)

El cemento se ha convertido en un material prácticamente indispensable por sus cualidades indiscutibles para la industria, por lo tanto, su uso y consumo no resulta sostenible en las condiciones actuales a nivel mundial.

En este trabajo se hará alusión a dos materiales que mediante sus características son muy utilizados en las industrias como son la puzolana y el caolín.

La puzolana en Paraguay, más específicamente de Yvytymí se encuentra ubicada en la ciudad del mismo nombre, sobre el río Tebycuary-mí, el cual posee un espesor de 60 a 70 cm. y se encuentra por debajo de una capa de suelo de 30cm. Proyecto Cooperación Técnica, (1986)

El caolín es abundante en varias partes del país y poseen muy alta calidad especialmente en los Departamentos de Cordillera, Paraguari y Central, entre otros. El material que se encuentra en la ciudad de Itauguá, al oeste del Valle de Ypacaraí pertenece a la Formación Vargas Peña y está expuesto en la cantera del mismo nombre, muy conocido por la comunidad geológica por su alto contenido de fauna fosilífera (Spinzi, 2002) Este yacimiento tiene un máximo espesor de 80 m al W del Valle de Ypacaraí. Al E del mismo valle no sobrepasa los 20 m. Proyecto PAR 83/005 (1986)

1.1 Planteamiento del Problema

La mayoría de las industrias cementeras utilizan ciertos aditivos para mejorar la calidad de su producto y ofrece al mercado distintos tipos de cementos con características, para diversos usos. Un ejemplo de ellos es el cemento puzolánico el cual utiliza las cenizas volcánicas naturales (puzolana) como aditivo.

En el Paraguay se conocen pocos depósitos de puzolana por lo cual es un material escaso y necesario para las industrias cementeras, se debe por lo tanto buscar nuevas alternativas de materiales que puedan sustituir a la puzolana natural. ¿Qué pasaría si se agotaran los depósitos de este material? ¿Existen otros materiales que lo puedan sustituir? y si ese fuera el caso ¿Que normas deben cumplir?

1.2 Justificación

Las industrias cementeras están buscando constantemente mejorar sus productos debido a la gran demanda e intensa competencia existente en el mercado.

Existen diversos tipos de cementos, los cuales son el producto de distintas combinaciones, por ejemplo, Clinker (materia prima del cemento) con yeso, Clinker con yeso y piedra caliza o Clinker con yeso y puzolana natural. A estos materiales se

les denomina aditivos que generalmente son de procedencia natural, pero hay otras combinaciones que podrían ser utilizadas y una de ellas se menciona en este trabajo, que es el cemento puzolanico.

Los aditivos mejoran la calidad del producto o ayuda a cumplir con los parámetros establecidos por la norma ASTM. C-618-70 y por el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN.

Con este trabajo se pretende investigar sobre un posible sustituto de la puzolana natural para adicionar al cemento por otro material que posea características similares como el caolín calcinado mediante la determinación del índice de puzolanidad de ambos materiales. Se necesitan ensayos físicos y químicos para poder verificar si el caolín calcinado cumple con las exigencias establecidas.

Es importante mencionar que, debido a los pocos yacimientos conocidos y escasa información existente sobre la puzolana natural, este trabajo también pretende servir como guía para futuras investigaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar el índice de uso a nivel industrial de los materiales Puzolana natural y/ o Caolín para la industria del cemento.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Comparar la resistencia del caolín calcinado y la puzolana natural como agregado al cemento.
- Cotejar si el caolín calcinado cumple con las especificaciones técnicas de la norma ASTM. C-618-70.

1.4 Hipótesis

Hi: El caolín calcinado es un sustituto de la puzolana natural para la industria del cemento.

2 MARCO TEÓRICO

2.2 Antecedentes

2.2.1 Puzolana

Los primeros trabajos de investigación realizados sobre la puzolana natural en el Paraguay estuvieron a cargo de la Empresa Española, Compañía General de Asfalto y Portland Asland (1982) en el Distrito de Ybytymí, Colonia Héctor L. Vera, a pedido de la Industria Nacional del Cemento, consistieron en la caracterización geológica y evaluación del índice de puzolanidad para su posible uso en la adición al cemento.

Por otra parte, Zarza (1991) citado por el proyecto de Cooperación Geológica Paraguayo Alemana (1992) realizó su tesis en San Pablo sobre los Yacimientos de Ybytymí - La Colmena, caracterizandolos desde el punto de vista geológico, como depósitos del tipo estratiformes discontinuos cuya actividad puzolánica se debe a la presencia de vidrios volcánicos y caparazones de algas diatomáceas, el mismo identificó la presencia de estos organismos de ambiente lacustre de agua dulce en materiales puzolánicos de Yvytytmí.

En marzo de 1992 con el proyecto de Cooperación Geológica Paraguayo Alemana la cual fue asesorada por el Dr. Walter Lorenz en relación de minerales industriales y no metálicos fueron visitadas dos áreas de ocurrencia de materiales puzolánicos la calidad del material es constantemente monitoreada por los laboratorios de la Industria Nacional del Cemento (INC).

2.2.2 Caolín

Harrington (1950) en su trabajo menciona una cantera llamada Vargas Vila la cual se encuentra a unos dos kilómetros al noroeste del pueblo de Ypacaraí, donde la arcilla se explota en una cantera para la fabricación de ladrillo.

Posteriormente, Putzer (1962) también menciona a las lutitas blancas caolínicas, denominadas lutitas Vargas Peña, de 10 m hasta 20 m de espesor, verificada al lado occidental del lago Ypacaraí y en el valle de río Piribebuy. Según Sagredo (1974) arcillas caolíníferas son rocas o sedimentos, in situ o transportadas, blancas o ligeramente coloreadas compuestas por más de 15% de materiales arcillosos, según sus propiedades e intereses comerciales puede dividirse en tres tipos caolín, arcilla caoliníferas plásticas, arcillas caoliníferas refractarias.

En (1995) la Cooperación Geológica Paraguay - Alemana, investigo sobre las arcillas del centro oeste del Paraguay Oriental caracterización tecnológica, potencial y usos en los Departamentos Central, Cordillera y Paraguarí donde menciona la lutita caolínica Vargas Peña como bien estratificadas blancas o grises con contenido fosilífero.

En el (2002) el Ministerio de Obras Publicas y Comunicaciones, realizó un trabajo sobre minerales no metálicos y rocas del Paraguay haciendo mención a las arcillas de quema blanca de origen transportado de buen espesor que se localizan en la zona de Itauguá, Ypacarai, Valenzuela y Santa Helena, las cuales pueden ser utilizadas en la industria cerámica y como carga industrial.

Así también Salinas (2014) realizó una descripción general de las lutitas de la Formación Vargas Peña.

2.3 Aglomerado

Es en general un compuesto de una o varias sustancias capas de endurecerse, a corto o largo plazo, en consecuencia, capaz de unir materiales heterogéneos de distintas naturalezas. Gomá, (1979)

2.4 Las Resistencias

El problema principal para el usuario -desde su punto de vista- suele estar, en general, en la resistencia mecánica que el cemento puede dar a un hormigón determinado. Calleja, (1983)

Se realizan dos ensayos físicos para determinar la resistencia mecánica de una probeta de hormigón las cuales son flexotracción y/o a compresión. (ASTM. C-618-70 Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN)

Para el usuario y también para el fabricante el cemento ideal, y por ello inalcanzable y utópico, sería aquél que, ya desde un principio y a edades muy cortas fuese capaz de desarrollar resistencias elevadas, continua e indefinidamente crecientes. (Calleja 1983)

2.5 Propiedades Hidráulicas

Los compuestos hidráulicos, contribuya al desarrollo de la resistencia de los cementos que contienen puzolana, a plazos medios y largos; y que, proporcione al hormigón una mayor durabilidad o resistencia química en múltiples aspectos. Calleja, (1983)

2.6 Hidróxido de calcio

En el horno de cal tiene lugar el proceso de descarbonatación de la piedra caliza o dolomía en óxido de calcio o magnesio (cal viva) y dióxido de carbono. Para apagar la cal se agrega agua, formándose hidróxido de calcio. Traversa, (2011).

2.7 La Puzolana

Las puzolanas son materiales silíceos o silico aluminoso, cuyos componentes mineraloides, amorfos, de por si no presentan capacidad aglomerante, según el informe realizado por Báez (2018). Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) sea mayor del 70 %. Cabrera, (2010)

Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos, el de las naturales y el de las artificiales, aunque, puede existir un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de activación, análogos a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales. Salazar, (2002)

2.7.1 Origen

2.7.1.1 Puzolanas Naturales

Los materiales denominados puzolanas naturales pueden tener dos orígenes distintos, uno puramente mineral y otro orgánico. Las puzolanas naturales de origen mineral son productos de transformación del polvo y “cenizas” volcánicas que, como materiales piroclásticos procedentes de erupciones explosivas, ricos en vidrio. Por una continuada acción atmosférica (meteorización) se convirtieron en tobas, esto es en rocas volcánicas, más o menos consolidadas y compactas, cristalinas o vítreas, según su naturaleza. El origen volcánico de las puzolanas naturales es determinante de su estructura. La estructura de las rocas, que se han originado por el enfriamiento de

grandes masas de lava que han fluido completa mente, depyende de la velocidad en que se ha producido el fenómeno. Salazar, (2002)

Las puzolanas naturales de origen orgánico son rocas sedimentarias abundantes en sílice hidratada y formadas en yacimientos o depósitos que en su origen fueron submarinos, por acumulación de esqueletos y caparazones silíceos de animales (infusorios radiolarios) o plantas (algas diatomeas). Todas las propiedades de las puzolanas naturales y en particular aquellas que las hacen especialmente aptas para su aprovechamiento en la industria del cemento, dependen fundamentalmente de su composición y de su textura, las cuales a su vez están íntimamente relacionadas con su origen y formación. Salazar, (2002)

2.7.1.2 Puzolanas artificiales

Se definen éstas como materiales que deben su condición a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta condición cabe distinguir dos grupos, uno, el formado por materiales naturales silicatados de naturaleza arcillosa y esquistosa, que adquieren el carácter puzolánico por sometimiento a procesos térmicos, y otro el constituido por subproductos de determinadas operaciones industriales, que, en virtud de su naturaleza y de las transformaciones sufridas en las mismas, adquieren las propiedades puzolánicas. Salazar, (2002)

Al primero de estos grupos pueden asimilarse, por su analogía, las puzolanas designadas como mixtas, intermedias o semiartificiales, es decir, aquellas que, naturales por su origen, se mejoran por un posterior tratamiento. Representantes típicos de este grupo son el polvo de ladrillo obtenido de productos de desecho de la cerámica de alfarería, las bauxitas naturales, entre otros productos. En el segundo grupo encajan los residuos de las bauxitas utilizadas para la obtención del aluminio, el polvo de chimeneas de altos hornos. También pueden incluirse en este grupo, las cenizas volantes y de parrilla de las centrales termoeléctricas y las cenizas de lignitos.

Como queda indicado, el representante más genuino de los materiales arcillosos elevables a la categoría de puzolana artificial es el polvo de ladrillo. Sometida la arcilla a tratamientos térmicos adecuados, se forman en ella compuestos puzolánicamente activos en virtud de reacciones y transformaciones de estructura, mineralógica y composición química, juegan importantísimo papel como variables la temperatura y el tiempo. Salazar (2002)

2.7.2 Usos de la Puzolana

La puzolana se utiliza como aditivo en la fabricación de cemento, este material hace que se produzca cemento puzolánico el cual da al hormigón una resistencia mucho mayor a medida que transcurre el tiempo en comparación al hormigón producido con cemento sin adición de puzolana. Los cementos puzolánicos se han reconocido, desde hace mucho tiempo como más resistentes a los sulfatos. Salazar, (2002)

2.8 Caolín

El caolín es la arcilla en la que predomina la mineral caolinita, se trata de un silicato de aluminio hidratado, con la composición química $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ de color blanco, aunque puede tener diversos colores debido a las impurezas. La presencia de impurezas, particularmente el hierro, imparte color al caolín. Generalmente, la calidad del caolín esta medida en términos del contenido de hierro y regularmente el caolín está acompañado de algunos minerales de hierro como son hematita, magnetita, goethita, maghemita, pirita, etc. (González & Ruiz, 2006). Estos óxidos e hidróxidos disminuyen el índice de blancura del caolín, dando como resultado arcillas de coloración café-amarillo (beige), dependiendo del contenido de hierro Cameselle *et al.*, 1995 citado por Salinas, (2014)

2.8.1 Origen

Es un producto de la meteorización de rocas ígneas y metamórficas, principalmente por alteración de los feldspatos ($KAlSi_3O_8$). También sustituye a los feldespatoideos, cuarzo (SiO_2), moscovita ($K_2Al_4(Si_6Al_2)O_{20}(OH)_4$), berilo $Be_3Al_2(SiO_3)_6$ y otros silicatos aluminicos. Es el principal mineral de la mayoría de las arcillas transportadas o residuales, en las que se encuentra asociada con la halloysita $Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$, cuarzo, ortoclasa, sericita, limonita, leucoxeno y materia carbonosa. En cantidades variables de los suelos, bauxitas y algunas arcillas de alfarero (con diáspora). Puede originarse también como mineral hidrotermal por alteración arcillosa de rocas encajantes en yacimientos de sulfuros en filones y sustituciones, junto con halloysita y dickita Heinrinch, 1965 citado por Salinas, (2014)

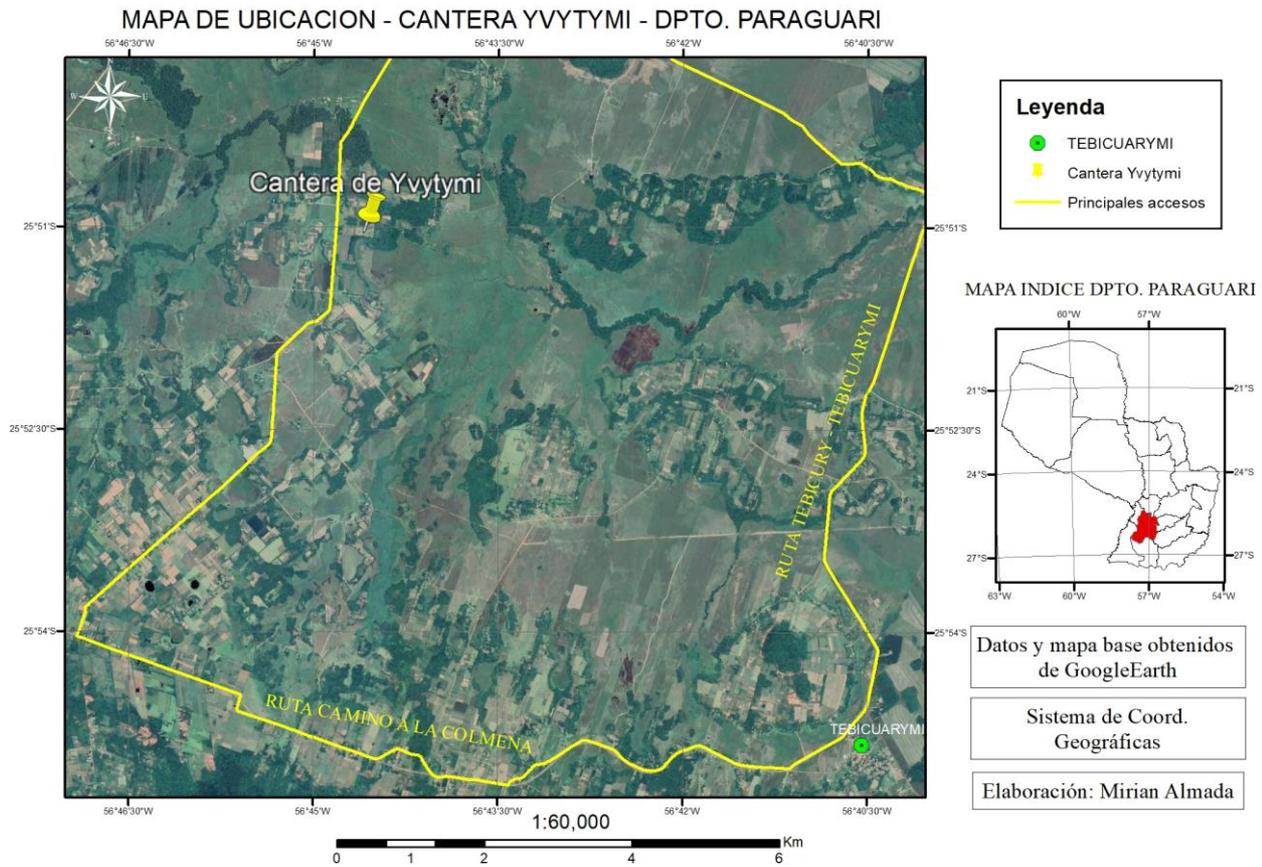
2.8.2 Usos del caolín

Los usos y aplicaciones del caolín en las industrias, son muy variados, pero en general, éste puede ser utilizado para refractarios, cerámica, porcelana, vidrio, pintura, plástico, cosméticos, carga industrial, farmacéutica, recubrimiento del papel entre otros materiales. Bartolomé, (1997)

2.9 Características del área de estudio

2.9.1 Área de estudio Puzolana

El yacimiento del material puzolánico se encuentra localizado a 3,5 km. al SE de la colonia Héctor L. Vera, Distrito de Yvytymí, Departamento de Paraguari, al mismo se puede acceder por la Ruta Nacional N°1 Mcal. Francisco Solano López, ramal Paraguari-Yvytymí, como también por otro acceso el cual es el ramal Carapegua – La Colmena a 132 km. El mismo se ubica entre las coordenadas geográficas S 25° 49' 45" y W 56° 44' 23".



2.9.2 Área de Estudio Caolín

El yacimiento en su localidad tipo, cantera de Vargas Peña se encuentra ubicado en el Departamento de Central cerca de la ciudad de Itauguá, al W del Valle de Ypacaraí, distante 86 Km al ESE de Asunción, por la Ruta 2. Mcal. José Félix Estigarribia. La cual se ubican en las coordenadas S 25° 22' 42" y W 57° 19' 42".

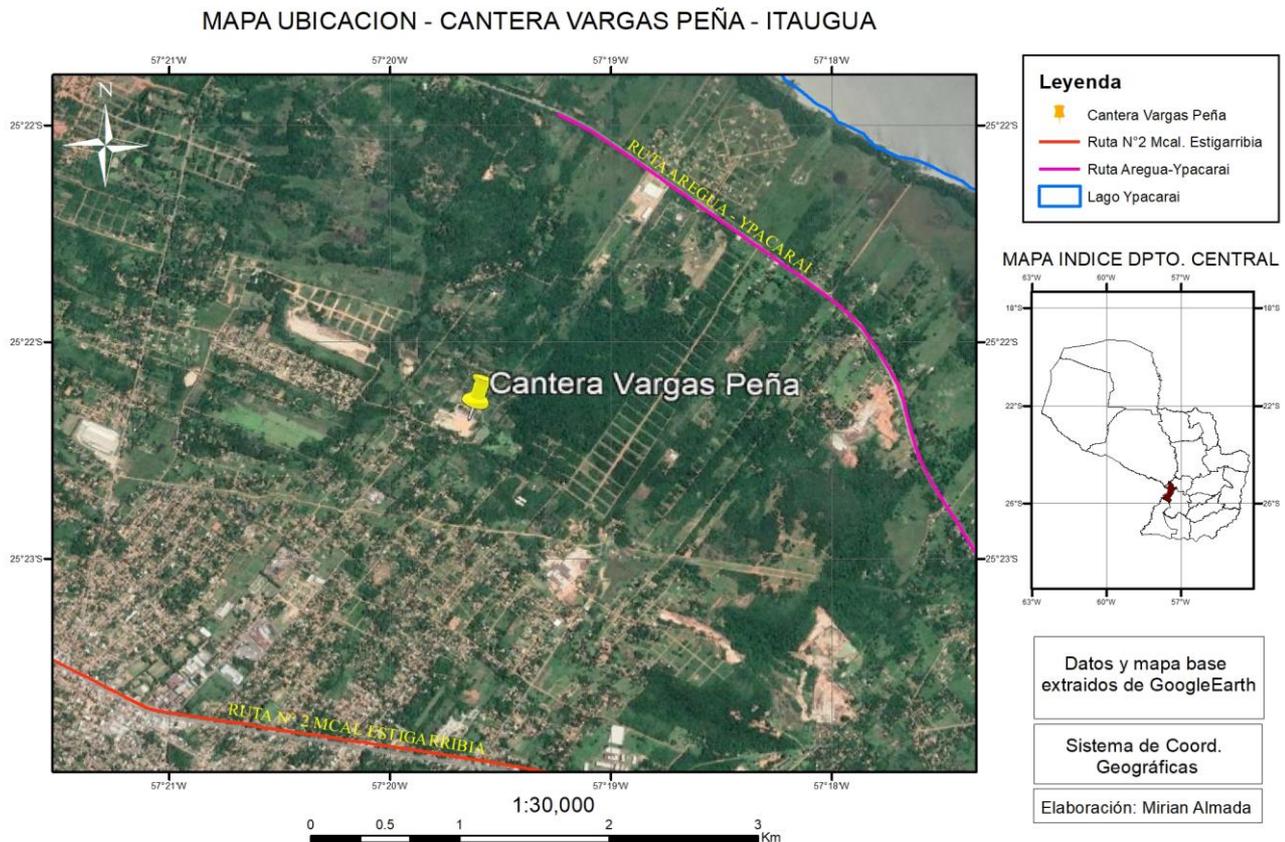


Figura 2. Localización del área de estudio Cantera Vargas Peña.

Fuente: Mirian Almada.

2.9.3 Suelo

De acuerdo al mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental de la República del Paraguay realizado por Gorostiaga y Erico (1995), el área que abarca la cantera de Vargas Peña en la ciudad de Itauguá está representado por el tipo del suelo Alfisol, el cual se caracteriza como horizontes de acumulación de arcilla que se ha movido de la parte superior del suelo, estas son de mejor calidad. Jaramillo, (2002)

Así también el área que abarca la cantera de Yvytymí en la ciudad del mismo nombre presenta un suelo del tipo Mollisol, los cuales son suelos que presentan materia orgánica bien humificada y es de color oscuro y espeso en la misma área; también se verifican suelos del tipo Entisol, cuya característica principal es que se

manifiesta con un menor grado de evolución. Por lo general solo se observa organización del suelo en la parte superior del mismo, por efecto de la materia orgánica y la actividad biológica presente en ella. Jaramillo, (2002)

2.9.4 Hidrografía

En el área que abarca el yacimiento de puzolana, según González et al (1998) el principal colector hidrológico del área de estudio es el Río Tebicuary-mí, desde el extremo este en dirección sur-oeste, cambiando luego de curso hacia el sur. El arroyo Naranjay que nace en la Colonia Santa Isabel, 8 km. al sur del pueblo de Sapucaí; y el arroyo Caañabé con sus afluentes, nace en los flancos de la Serranía de Ybytymí, confluye y drenan en dirección oeste, desembocando finalmente en el Río Tebicuary-mí.

La Serranía de Ybytymí y los cerros ubicados al sur del Complejo de Sapucaí, sirve como divisorias de agua, de arroyos que drenan al este y al oeste. Otra divisoria de agua es la elevación del Bloque Cordillerita, este facilita el drenaje de los arroyos en la dirección sur.

El trazado de los arroyos y del Río Tebicuary-mí muestra diseños angulosos y rectilíneos, lo que indica un control estructural del drenaje según González *et al* (1998).

Por otra parte, el área que abarca el yacimiento de caolín, están en las zonas de influencia del Río Paraguay con sus afluentes, los ríos Salado, Manduvirá, el Arroyo Piribebuy, el lago Ypacaraí y un gran número de colectores, según consta en el trabajo realizado por Dionisi (1999)

Los colectores del Arroyo Piribebuy presentan una dirección de flujo en sentido N-E, no así los del lago Ypacaraí que presentan una dirección de flujo hacia el W, ya que la Cordillera de los Altos actúa como un divisor de aguas.

El conjunto de estos cauces define un drenaje que por su disposición geométrica corresponde a un Sistema Integrado, es decir, que existe una conexión de todos y cada uno de los canales o cauces de escorrentía, tributarios y ríos para formar una red hidrográfica completa. Dionisi, (1999)

2.9.5 Clima y Vegetación

El clima y la vegetación de la zona donde se ubica el yacimiento de puzolana se caracteriza para áreas específicas, las zonas fisiográficamente elevadas presentan un clima seco y ventoso, y una vegetación constituida principalmente de gramíneas y matorrales arbustivos. La roca desnuda y el espesor mínimo de los suelos, son las causas principales por las cuales la vegetación no puede desarrollarse. González *et al* (1998)

En referencia al área del yacimiento de caolín, el clima de la región es subtropical húmeda, con temperatura media anual del aire de 28 °C y precipitación media anual de 1.800 mm, siendo los meses de octubre a mayo el periodo de mayor precipitación, según datos del Boletín Climatológico de la Dirección de Aeronáutica Civil y la Dirección de Meteorología e Hidráulico.

Las zonas elevadas desarrollan una vegetación arbórea a arbustiva, en parte se presenta como densos bosques, especialmente cerca de los cursos de agua, desarrollando una vegetación en galería.

Los valles sujetos a inundaciones presentan gran desarrollo de gramíneas, ciperáceas y camalotes. Dionisi (1999).

3 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1 Geología Regional

3.1.1 Puzolana Ybytymí

El trabajo elaborado por la Cooperación Geológica Paraguayo Alemana (1993) son depósitos aluviales detríticos en planicies humedales, homogéneos, microcristalinos, levemente silicificados y de color gris blanco con una granulometría fina a gruesa. Tiene un espesor de 60 a 70 cm. y se encuentra por debajo de una capa de suelo de 30cm., se trata de extensas planicies la reserva se puede clasificar como muy grande.

Zarza (1991) citado por la Cooperación Geológica Paraguayo Alemana (1993) identifico la presencia de diatomeas de ambiente lacustre de agua dulce en materiales puzolánicos en Ytytymí. Estos microorganismos igualmente pueden contribuir a la formación de sedimento puzolánico.

Lorenz (1992) citado por Cooperación Geológica Paraguayo Alemana (1993) incluye también que a consecuencia de la formación de suelo se podrían generar nuevos minerales, que son amorfos y con ellos se causaría una puzolanidad.

La extensa zona del valle del río tebicuary-mí pertenece al rift de Asunción una estructura de tectónica distensional Mesozoica con dirección predominante al NW y NWW. Esta tectónica causo la ruptura del basamento precámbrico/paleozoico y un subsiguiente basculamiento diferenciado en bloques, hundiéndose el río tebicuary-mí,

levantándose el área de Yvytymí al N y el área de cordillera al S tornan la base de la ocurrencia puzolánica areniscas heterogéneas de la formación Cnel. Oviedo (carbonífero). Hacia el N cordillera de Yvytymí se expone secuencias carboníferas, hacia el E ciudad de Itape sobreyacen sedimentos del grupo Independencia (permo-carbonífero). Cooperación Geológica Paraguayo Alemana (1993)

La tectónica distensional se vio acompañada de un pronunciado magmatismo básico-alcalino (intrusivas y extrusivas). Forman parte de la extrusivas centros de erupciones (chimeneas con cenizas volcánicas) material piroclástico mesozoico y redepositados en las planicies formarían una fuente de origen para el material puzolánico. Cooperación Geológica Paraguayo Alemana (1993)

3.1.2 Caolín Itauguá

Beder e Windhausen citado por Dionisi (1999). fueron los pioneros en estudios geológicos y paleontológicos respectivamente, en las sedimentitas.

Las formaciones eopaleozoicas del Paraguay Oriental según Harrington (1950) están expuestas solo en las regiones norte y central del país. El mismo autor incluye en este grupo a las arcillas encontradas en la cantera Vargas Peña, posteriormente Harrington (1958) en su trabajo denominó Serie Itacurubí.

Wolfart (1961) Citado por el Proyecto PAR 83/005 (1986) menciona que los estratos-guía del Silúrico son unas lutitas blancas, blancas, caolínicas, llanada lutita Vargas Peña, de 10 m hasta 20 m de espesor, verificada al lado occidental del lago Ypacaraí y en el valle de río Piribebuy.

Palmieri Velázquez (1982) habla sobre los depósitos del Silúrico en el Paraguay Oriental, los cuales están constituidos por rocas representativas de una fase

de ingesión marina agrupadas bajo la denominación de grupo Caacupé y grupo Itacurubí. Ambos grupos están constituidos por unidades de rocas designadas como "formaciones" en la literatura específica, algunas fosilíferas y otras no.

El grupo Itacurubí, formado por areniscas y lutitas caolínicas comprende las siguientes formaciones: areniscas Eusebio Ayala, lutitas Vargas Peña, areniscas Cariy.

La unidad sedimentaria paleozoica se halla constituida por una secuencia clástica, depositadas en un ambiente fluvial costero a marino. La depositación de estos sedimentos se inicia a partir del Ordovícico Superior al Silúrico Superior-Devónico. (Dionisi, 1999)

La tectónica menciona el origen del rift de Asunción la cual está asociada con la separación de América y África y la orogenia Andina (Fulfaro ,1996)

La depresión o "graben" de Ypacaraí, se menciona en todos los trabajos anteriores como la estructura geológica más importante del Paraguay, considerada entonces, como generalmente simple Harrington, 1950 y 1956; Eckel, 1959; y Putzer, 1962) citados por El Proyecto PAR 83/005 (1986). Este valle con gran expresión en el relieve, generalmente llano del país, resultante del relleno sedimentario Terciario/Cuaternario, se extiende aproximadamente en dirección N 30°W, abarcando 70 km. desde Paraguarí, al S, hasta Villa Hayes, en el N, y variando su ancho entre 6 y 10 km.

Harrington nuevamente citado en el Proyecto PAR 83/005 (1986) cree que este valle fue causado por movimientos verticales originando un gran "graben", en el que el borde occidental de la depresión se hundió varios centenares de metros con respecto al borde oriental.

Putzer citado por el Proyecto PAR 83/005 (1986) también describe la depresión del Lago de Ypacaraí como la zona fracturada más importante del Paraguay Oriental. Al contrario que Harrington, lo considera como una zona desmembrada por fallas escalonadas, siendo la falla mayor de una longitud aproximada a los 100 km, con un rechazo total, en dirección W, de cerca de 600 metros.

Degraff, (1982) Citado por el Proyecto PAR 83/005 (1986) llevó a cabo un estudio geofísico consistente en gravimetría y magnetometría, a lo largo de una línea por la Ruta 2, que atravieza el Valle de Ypacaraí, desde San Lorenzo hasta Eusebio Ayala. Concluyen que la existencia de fallas normales de dirección N-S, en la zona ubicada al W del valle, cuyos lados occidentales habrán descendido 925 y 1.125 metros como máximo, con respecto a sus lados orientales, además del análisis de los datos geofísicos obtenidos, que el borde oriental del valle no está asociado genéticamente con una falla de rechazo vertical y de dirección noroeste. El valle de Ypacaraí habría evolucionado por erosión selectiva, a lo largo de una falla de cizallamiento de sentido dextrógiro, que correría actualmente a lo largo del valle.

3.2 Métodos

Esta investigación presenta un enfoque del tipo cuantitativo el cual utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico (Hernandez Sampieri, Fernández & Baptista, 2014).

El nivel de investigación es explicativo se centra en explicar porque ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o porque se relación dos o más variables.

3.2.1 Trabajo de Campo

Etapa 1

En esta etapa se realizaron dos vistas de campo para recolectar muestras, la primera del caolín en la cantera Vargas Peña en la ciudad de Ituaguá y la segunda, de la puzolana en la cantera de Yvytumí en la ciudad del mismo nombre.

Las muestras extraídas fueron secados a temperatura ambiente durante un día y luego llevados a la estufa a 120 °C a 24 horas.

Trabajo de Laboratorio

Etapa 2

Esta etapa consistió en la trituración y molienda de la puzolana y el caolín (figura 3 y 4). El caolín fue calcinado y durante 2 horas a 900 °C (Figura 5 y 6) y luego pasado por el tamiz de 3,25µm. La puzolana no fue calcinada, pero también fue pasada por el tamiz de 3,25 µm. (Figura 7) Posterior a esto se preparó el cemento patrón utilizando Clinker portland producido en Vallemi y adicionando yeso al 5%. El cual fue proveída por la Industria Nacional Del Cemento (INC).



Figura 3. Trituradora empleada para reducir el tamaño de las muestras.



Figura 4. Molino de disco utilizado para disminuir el tamaño de los materiales obtenidos de la trituradora.



Figura 5. Mufla de calcinación (hasta 900°C) para muestras de caolín.



Figura 6. Crisoles conteniendo caolín sin calcinar y caolín calcinado.



Figura 7. Proceso de tamización de caolín calcinado y puzolana para determinar el índice de puzolanidad.

Etapas 3

En esta etapa se debe calcular la densidad del cemento patrón, puzolana y caolín para determinar la cantidad de material a ser utilizado en la mezcla obsérvese en la (figura 8), y por medio de ello establecer el índice de puzolanidad que se desea conocer, teniendo en cuenta la Norma ASTM. C-618-70 Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología (INTN).

Para determinar la densidad de cada material se utiliza el frasco de Le Chatelier, es un frasco con graduaciones propias para establecer la densidad, el frasco debe estar completamente seco, el mismo es cargado con querosén ya que este líquido no reacciona con el cemento, puzolana y el caolín calcinado u otro elemento. El frasco Le Chatelier es enrasado en 0 con querosén, luego es sumergido en una pileta con agua durante 15 minutos para que se establezca la temperatura del querosén, transcurrido el tiempo los frascos son retirado de la pileta. Posterior a ello se introduce en el frasco de Le Chatelier la cantidad de material (64 gr. cemento patrón, 50gr. puzolana, 50gr. caolín calcinado cada uno de estos en frascos diferentes) cuya densidad se quiere obtener.

Una vez realizado este proceso se lleva los frascos de Le Chatelier en la pileta para que se establezca nuevamente la temperatura del querosén mezclado con cemento, puzolana y caolín calcinado durante 15 minutos, pasado ese tiempo se realiza la lectura del volumen desplazado y se utiliza la fórmula de densidad.

$$densidad = \frac{masa}{volumen\ desplazado}$$

Densidad del cemento patrón (el peso del material no afecta en la obtención de la densidad).

$$(Se\ pesó\ 64\ gramos) \quad d = \frac{64gr.}{21ml.} = 3,05\ kg/m^3$$

Densidad de la puzolana Yvytymí (el peso del material no afecta en la obtención de la densidad).

$$(Se\ pesó\ 50\ gramos) \quad d = \frac{50gr.}{21,36ml.} = 2,34\ kg/m^3$$

Densidad de Caolín (el peso del material no afecta en la obtención de la densidad).

$$(Se\ pesó\ 50\ gramos)\ d = \frac{50gr.}{19,2ml.} = 2,60\ kg/m^3$$



Figura 8. Frasco de Le Chatelier utilizado para obtener la densidad de cada material.

Etapa 4

Al obtener la densidad de cada material se realiza un cálculo mediante el cual se obtienen los gramos de puzolana y caolín calcinado necesarios a ser utilizados para la mezcla y agregar al cemento patrón, utilizando la fórmula dada por el INTN regida por la Norma ASTM. C-618-70

$$\text{Gramos para el Índice} = \frac{\text{constante} \times \text{densidad de la puzolana u/o caolín}}{\text{densidad de cemento patrón}}$$

$$\text{Gramos necesarios adición de puzolana} = \frac{175 \times 2,34}{3,05} = 134,26gr.$$

$$\text{Gramos necesarios adición de caolín} = \frac{175 \times 2,60}{3,05} = 149,18gr.$$

Etapa 5

En esta etapa se procede a la mezcla de cemento patrón y puzolana, cemento patrón y caolín calcinado (gramos obtenidos mediante la fórmula calculada anteriormente) con agua destilada y arena normalizada (Tabla 1) la cual posee distintas granulometrías. La misma está estipulada en la norma dada por el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología INTN para realizar la prueba de índice de puzolanidad.

Tabla 1. Granulometría de Arena Normalizada.

Granulometría	Peso
1mm.	500gr.
0,5mm.	500gr.
100mm.	350gr.
170mm.	150gr.
Total =	1.500gr.

Fuente: Industria Nacional del Cemento, Norma dada por el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología.

Mezcla para obtención de la pasta.

Se elaboran nueve probetas, tres sin añadir ningún tipo de aditivo al cemento patrón, tres probetas añadiendo puzolana al cemento patrón y tres probetas añadiendo caolín calcinado al cemento patrón, pesando cada material y posterior a ello mezclándolos (Figura 9 y 10).

Preparación de cemento patrón.

Se produce la pasta mezclando 500gr de cemento patrón, 250ml. de agua destilada y 1.500gr. arena normalizada hasta obtener una pasta homogénea.

Preparación de cemento patrón agregando puzolana.

Se produce la pasta mezclando 325gr. de cemento patrón; 134,26gr. de puzolana, 250ml. de agua destilada y 1.500gr. de arena normalizada hasta obtener una pasta homogénea.

Preparación de cemento patrón agregando caolín calcinado.

Se produce la pasta mezclando 325gr. de cemento patrón; 149,18 de caolín calcinado, 250ml. de agua destilada y 1.500gr. de arena normalizada hasta obtener una pasta homogénea.

Al finalizar la mezcla y obtener la pasta se procede al moldeo observado en la (Figura 11) dejando secar la pasta durante un día en la cámara húmeda. Pasado las 24 horas se extraen los moldes de la cámara húmeda, se desmolda los prismas de 16x4 cm. de cemento patrón, cemento patrón con puzolana y cemento patrón con caolín calcinado. Estas probetas se introducen en unos contenedores sin aire y almacenados en una estufa a 40 °C durante 28 días (Figura 12 y 13).

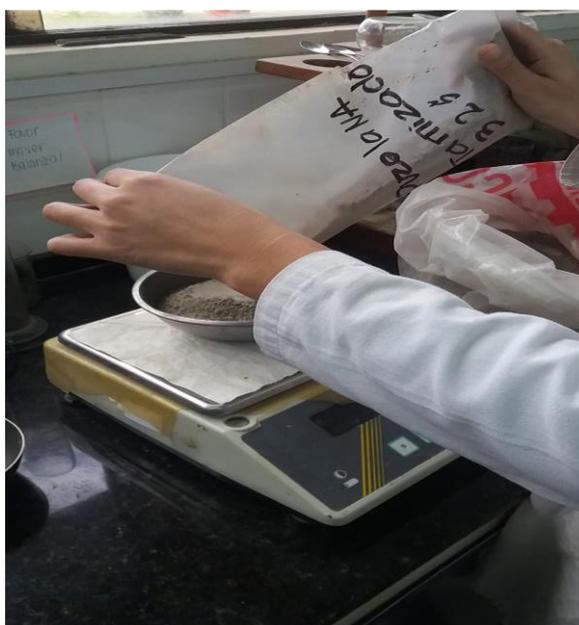


Figura 9. Pesado de materiales para su posterior mezcla.



Figura 10. Maquina mezcladora de homogenización para la pasta.

Figura 11. Moldeado de la mezcla del cemento patrón.





Figura 12. Moldes prismáticos de cemento patrón, cemento patrón con puzolana y cemento patrón con caolín calcinado.



Figura 13. Probetas llevadas a la estufa durante 28 días para la determinación del índice de puzolanidad.

Etapas 6

Ensayo físico para el Índice de Puzolanidad.

Al ser extraídas las probetas de la estufa después de 28 días como se observa en la (Figura 14 y 15) se realiza el ensayo de resistencia a la compresión. El ensayo se basa en la aplicación de una carga progresiva de compresión. Cada probeta es

fracturada en dos sesiones las cuales son sometidas nuevamente a la presa para obtener una resistencia a la compresión promedio (Figura 16)

Ensayo físico de resistencia a la compresión del cemento patrón.

Probeta A

La probeta uno de cemento patrón es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RA1. aplicándole una fuerza de FA1. La segunda sesión da una resistencia de RA2. aplicando una fuerza de FA2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RA1= 62,00 KN. FA1 38,74 MPa.

RA2=62,36KN. FA2 38,97 MPa.

$$\text{Resistencia probeta A} = \frac{(62,00 + 62,36)}{2} = 62,18\text{KN}.$$

Probeta B

La probeta dos de cemento patrón es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RB1. aplicándole una fuerza de FB1. La segunda sesión da una resistencia de RB2. aplicando una fuerza de FB2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RB1=62,18KN. FB1=38,86MPa

RB2=61,49KN. FB2=38,43MPa.

$$\text{Resistencia probeta B} = \frac{(62,18 + 61,49)}{2} = 61,83\text{KN}.$$

Probeta C

La probeta tres de cemento patrón es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RC1. aplicándole una fuerza de FC1. La segunda sesión da una resistencia de RC2. aplicando una fuerza de FC2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RC1=63,23KN. FC1=39,52MPa.

RC2=62,37KN. FC2=38,97MPa.

$$\text{Resistencia probeta C} = \frac{(63,23 + 62,37)}{2} = 62,80KN.$$

Al determinar la resistencia a la compresión de las seis sesiones de probetas del cemento patrón, se realiza la sumatoria de la resistencia media de las tres probetas para obtener la resistencia total, la cual a su vez son divididas entre tres, este resultado será utilizada en la fórmula para la determinación de índice de puzolanidad.

$$\text{Resistencia Total cemento patron} = \frac{(A + B + C)}{3}$$

$$RT = \frac{(62,18 + 61,83 + 62,80)}{3} = 62,27KN.$$

Ensayo físico de resistencia a la compresión al cemento patrón añadiendo puzolana.

Probeta A

La probeta uno de cemento patrón con puzolana es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RA1. aplicándole una fuerza de FA1. La segunda sesión da una resistencia de RA2. aplicando una fuerza de FA2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RA1=59,42KN. FA1=37,14MPa.

RA2=57,56KN. FA2=35,98MPa.

$$\text{Resistencia probeta A} = \frac{(59,42 + 57,56)}{2} = 58,49KN.$$

Probeta B

La probeta dos de cemento patrón con puzolana es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RB1. aplicándole una fuerza de FB1. La segunda sesión da una resistencia de RB2. aplicando una fuerza de FB2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RB1=59,29KN. FB1=37,06MPa

RB2=58,84KN. FB2=36,76MPa.

$$\text{Resistencia probeta B} = \frac{(59,29 + 58,84)}{2} = 59,06KN.$$

Probeta C

La probeta tres de cemento patrón con puzolana es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RC1. aplicándole una fuerza de FC1. La segunda sesión da una resistencia de RC2. aplicando una fuerza de FC2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RC1=56,94KN. FC1=35,59MPa.

RC2=57,75KN. FC2=36,09MPa.

$$\text{Resistencia probeta C} = \frac{(56,94 + 57,75)}{2} = 57,35KN.$$

Al determinar la resistencia a la compresión de las seis sesiones de probetas del cemento patrón con puzolana, se realiza la sumatoria de la resistencia media de las tres probetas para obtener la resistencia total, la cual a su vez son divididas entre tres, este resultado será utilizada en la fórmula para la determinación de índice de puzolanidad.

$$\text{Resistencia Total cemento patron con puzolana} = \frac{(A + B + C)}{3}$$

$$RTp = \frac{(58,49 + 59,06 + 57,37)}{3} = 58,30KN.$$

Ensayo físico de resistencia a la compresión al cemento patrón añadiendo caolín calcinado.

Probeta A

La probeta uno de cemento patrón con caolín es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RA1. aplicándole una fuerza de FA1. La segunda sesión da una resistencia de RA2. aplicando una fuerza de FA2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RA1=49,40KN. FA1=30,88MPa.

RA2=51,69KN. FA2=32,30MPa.

$$\text{Resistencia probeta A} = \frac{(49,40 + 51,69)}{2} = 50,49KN.$$

Probeta B

La probeta dos de cemento patrón con caolín es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RB1. aplicándole una fuerza de FB1. La segunda sesión da una resistencia de RB2. aplicando una fuerza de FB2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RB1=50,19N. FB1=31,37MPa

RB2=51,30KN. FB2=32,06MPa.

$$\text{Resistencia probeta B} = \frac{(50,19 + 51,30)}{2} = 50,74KN.$$

Probeta C

La probeta tres de cemento patrón con caolín es sometida al ensayo de resistencia a la compresión. La primera sesión da una resistencia de RC1. aplicándole una fuerza de FC1. La segunda sesión da una resistencia de RC2. aplicando una fuerza de FC2. Estas resistencias se suman y luego se dividen entre dos, dando una resistencia media.

RC1=48,62KN. FC1=30,38MPa.

RC2=48,44KN. FC2=30,38MPa.

$$\text{Resistencia probeta C} = \frac{(48,62 + 48,44)}{2} = 48,53KN.$$

Al determinar la resistencia a la compresión de las seis sesiones de probetas del cemento patrón con puzolana, se realiza la sumatoria de la resistencia media de las tres probetas para obtener la resistencia total, la cual a su vez son divididas entre tres, este resultado será utilizada en la fórmula para la determinación de índice de puzolanidad.

$$\text{Resistencia Total cemento patron con caolín} = \frac{(A + B + C)}{3}$$

$$RTc = \frac{(50,54 + 50,74 + 48,53)}{3} = 50,00KN.$$



Figura 14. Probetas extraídas de la estufa después de 28 días para la determinación del índice de puzolanidad.



Figura 15. Limpieza y secado de las probetas para realizar el ensayo físico de resistencia.



Figura 16. Prensa Hidráulica utilizada para el ensayo físico de resistencia.

Etapa 7

INDICE DE PUZOLANICIDAD (IP)

El índice de actividad puzolánica se calcula utilizando las resistencias promedio obtenidas del cemento patrón, puzolana y caolín calcinado, en la etapa síes mediante la siguiente fórmula.

Puzolana

$$F = \frac{\text{Resistencia puzolana}}{\text{Resistencia cemento patrón}} \times 100$$

$$F = \frac{58,30}{62,27} \times 100 = 93,62\%$$

Caolín calcinado

$$F = \frac{\text{Resistencia caolín}}{\text{Resistencia cemento patrón}} \times 100$$

$$F = \frac{50,00}{62,27} \times 100 = 80,29\%$$

Tabla 2. Análisis Químicos de Puzolana y Caolín calcinado.

Determinación %	Puzolana Ybytymí	Caolín calcinado	Norma ASTM C618-78
SiO ₂	66,23%	72,81%	
Al ₂ O ₃	18,14%	18,71%	
Fe ₂ O ₃	4,51%	3,34%	
SiO+Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	88,88%	94,96%	≥ 70%
CaO	0,84%	0,27%	
MgO	0,60%	0,39%	≤ 5%

Fuente: material proveído por la Industria Nacional del Cemento.

Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) sea mayor del 70%. Se trata que la puzolana tenga una estructura amorfa.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

En las pruebas físicas realizadas se tiene la evidencia del comportamiento puzolánico, tanto de la puzolana natural como del caolín calcinado mediante el análisis de las probetas de hormigón, las cuales, al ser sometidas a los ensayos de compresión, se ha determinado el índice de puzolanidad de ambos materiales y de sus respectivos porcentajes. En simultaneo, también se realizaron los ensayos químicos, en los cuales se observan la variación de los elementos que componen la puzolana natural como el caolín calcinado.

La norma ASTM. C-618-70 del INTN, dictamina que un material cumple con el índice de puzolanidad cuando su porcentaje de IP es de 75% como mínimo.

Según los resultados del laboratorio, el cemento patrón del tipo I, no posee ninguna adición y da una resistencia promedio de 62,27 KN, en cambio el cemento patrón con adición de puzolana extraído de la cantera de Yvytymí da una resistencia promedio de 58,30KN. y presenta un índice de 93,62%. El cemento patrón con adición de caolín calcinado, el cual se extrajo de la cantera Vargas Peña muestra una resistencia promedio de 50,00 KN. y un índice de 80,29%, este porcentaje cumple con la norma establecida por el INTN mencionada anteriormente.

Al realizar este ensayo para determinar el comportamiento puzolánico o reacción puzolánica de un material aglomerante se demuestra su capacidad para reaccionar con el hidróxido de calcio para formar compuestos hidráulicos. La puzolana ya sea natural o artificial por sí sola no tiene propiedades hidráulicas, combina su contenido de sílice con la cal que libera el cemento al hidratarse, para formar compuestos con propiedades hidráulicas. La reacción puzolánica es la reacción química que se produce en el cemento portland que contiene puzolanas natural o artificial. (Cabrera, 2010).

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusión

De acuerdo a los objetivos del trabajo los resultados obtenidos evidencian que el caolín calcinado a una temperatura correcta y durante un tiempo determinado adquiere características puzolanicas. Al ser sometido a los ensayos físicos de compresión mediante el cual se determina el índice de un material, se verifica que el caolín calcinado posee un índice de 80,29% y puede ser admitido según la norma ASTM. C-618-70 como un material con propiedades puzolanicas ya que la norma solicita como mínimo 75% de IP para un material.

La puzolana ya sea natural o artificial en la actualidad cumple un papel muy importante principalmente en la industria cementera, ya que las mismas la emplean para mejorar la calidad de sus productos utilizándola como aditivo. El caolín al adquirir características puzolánicas mediante un tratamiento térmico y cumpliendo con la norma ASTM. C-618-70 y ser admitido como un material puzolánico podrá ser utilizado como sustituto en la adición al cemento.

5.2 Recomendaciones

Los ensayos tanto físicos como químicos evaluaron el porcentaje del índice de puzolanidad del caolín calcinado, el cual estuvo sometido a una única temperatura y durante un determinado tiempo. Se recomienda realizar otros ensayos para evaluar el comportamiento del caolín al ser calcinado a mayor temperatura y menor tiempo o

viceversa, la influencia de estos parámetros (tiempo y temperatura) dan el índice de puzolanidad.

Se debe tener en cuenta que en este trabajo solo se determinó el índice de puzolanidad del caolín calcinado, no así su influencia como aditivo, será un gran aporte poder determinar futuramente las características que presenta el hormigón a ser utilizado con el caolín calcinado como aditivo en el cemento.

Este trabajo servirá como apoyo para futuras investigaciones que tengan como propósito investigar más acerca de las propiedades del caolín calcinado y su uso en la industria cementera ya que el mismo puede ser utilizado como un aditivo cumpliendo con las normas requeridas.

ANEXO

A. Norma dada por el Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología

Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 618, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

1. Scope *

1.1 This specification covers coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete where cementitious or pozzolanic action, or both, is desired, or where other properties normally attributed to fly ash or pozzolans may be desired, or where both objectives are to be achieved.

NOTE 1—Finely divided materials may tend to reduce the entrained air content of concrete. Hence, if a fly ash or natural pozzolan is added to any concrete for which entrainment of air is specified, provision should be made to ensure that the specified air content is maintained by air content tests and by use of additional air-entraining admixture or use of an air-entraining admixture in combination with air-entraining hydraulic cement.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²

C 311 Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete²

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 The terms used in this specification are defined in Terminology C 125.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.24 on Supplementary Cementitious Materials.

Current edition approved Jan. 10, 2003. Published February 2003. Originally approved in 1968. Last previous edition approved in 2002 as C 618-02.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

3.1.2 *fly ash*—the finely divided residue that results from the combustion of ground or powdered coal and that is transported by flue gases.

NOTE 2—This definition of fly ash does not include, among other things, the residue resulting from: (1) the burning of municipal garbage or any other refuse with coal; (2) the injection of lime directly into the boiler for sulfur removal; or (3) the burning of industrial or municipal garbage in incinerators commonly known as "incinerator ash."

4. Classification

4.1 *Class N*—Raw or calcined natural pozzolans that comply with the applicable requirements for the class as given herein, such as some diatomaceous earths; opaline cherts and shales; tuffs and volcanic ashes or pumicites, calcined or uncalcined; and various materials requiring calcination to induce satisfactory properties, such as some clays and shales.

4.2 *Class F*—Fly ash normally produced from burning anthracite or bituminous coal that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash has pozzolanic properties.

4.3 *Class C*—Fly ash normally produced from lignite or subbituminous coal that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash, in addition to having pozzolanic properties, also has some cementitious properties.

NOTE 3—Some Class C fly ashes may contain lime contents higher than 10 %.

5. Ordering Information

5.1 The purchaser shall specify any supplementary optional physical requirements.

5.2 The purchaser shall indicate which procedure, A or B, shall be used when specifying requirements for effectiveness in contribution to sulfate resistance under Table 3.

6. Chemical Composition

6.1 Fly ash and natural pozzolans shall conform to the requirements as to chemical composition prescribed in Table 1.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

TABLE 1 Chemical Requirements

	Class		
	N	F	C
Silicon dioxide (SiO ₂) plus aluminum oxide (Al ₂ O ₃) plus iron oxide (Fe ₂ O ₃), min, %	70.0	70.0	50.0
Sulfur trioxide (SO ₃), max, %	4.0	5.0	5.0
Moisture content, max, %	3.0	3.0	3.0
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0 ^A	6.0

^AThe use of Class F pozzolan containing up to 12.0% loss on ignition may be approved by the user if either acceptable performance records or laboratory test results are made available.

TABLE 2 Physical Requirements

	Class		
	N	F	C
Fineness:			
Amount retained when wet-sieved on 45 μm (No. 325) sieve, max, % ^A	34	34	34
Strength activity index:^B			
With portland cement, at 7 days, min, percent of control	75 ^C	75 ^C	75 ^C
With portland cement, at 28 days, min, percent of control	75 ^C	75 ^C	75 ^C
Water requirement, max, percent of control	115	105	105
Soundness:^D			
Autoclave expansion or contraction, max, %	0.8	0.8	0.8
Uniformity requirements:			
The density and fineness of individual samples shall not vary from the average established by the ten preceding tests, or by all preceding tests if the number is less than ten, by more than:			
Density, max variation from average, %	5	5	5
Percent retained on 45-μm (No. 325), max variation, percentage points from average	5	5	5

^ACare should be taken to avoid the retaining of agglomerations of extremely fine material.
^BThe strength activity index with portland cement is not to be considered a measure of the compressive strength of concrete containing the fly ash or natural pozzolan. The mass of fly ash or natural pozzolan specified for the test to determine the strength activity index with portland cement is not considered to be the proportion recommended for the concrete to be used in the work. The optimum amount of fly ash or natural pozzolan for any specific project is determined by the required properties of the concrete and other constituents of the concrete and is to be established by testing. Strength activity index with portland cement is a measure of reactivity with a given cement and may vary as to the source of both the fly ash or natural pozzolan and the cement.
^CMeeting the 7 day or 28 day strength activity index will indicate specification compliance.
^DIf the fly ash or natural pozzolan will constitute more than 20% by weight of the cementitious material in the project mix design, the test specimens for autoclave expansion shall contain that anticipated percentage. Excessive autoclave expansion is highly significant in cases where water to fly ash or natural pozzolan and cement ratios are low, for example, in block or shotcrete mixes.

NOTE 4—The chemical component determinations and the limits placed on each do not predict the performance of the fly ash or natural pozzolan with hydraulic cement in concrete, but collectively help describe composition and uniformity of the material.

7. Physical Properties

7.1 Fly ash and natural pozzolans shall conform to the physical requirements prescribed in Table 2. Supplementary optional physical requirements are shown in Table 3.

8. Methods of Sampling and Testing

8.1 Sample and test the fly ash or natural pozzolan in accordance with the requirements of Test Methods C 311.
 8.2 Use cement of the type proposed for use in the work and, if available, from the mill proposed as the source of the cement, in all tests requiring the use of hydraulic cement.

9. Storage and Inspection

9.1 The fly ash or natural pozzolan shall be stored in such a manner as to permit easy access for proper inspection and identification of each shipment.

9.2 Inspection of the material shall be made as agreed upon by the purchaser and the seller as part of the purchase contract.

10. Rejection

10.1 The purchaser has the right to reject material that fails to conform to the requirements of this specification. Rejection shall be reported to the producer or supplier promptly and in writing.

10.2 The purchaser has the right to reject packages varying more than 5% from the stated weight. The purchaser also has the right to reject the entire shipment if the average weight of the packages in any shipment, as shown by weighing 50 packages taken at random, is less than that specified.

10.3 The purchaser has the right to require that material in storage prior to shipment for a period longer than 6 months after testing be retested. The purchaser has the right to reject such material if it fails to meet the fineness requirements.

11. Packaging and Package Marking

11.1 When the fly ash or natural pozzolan is delivered in packages, the class, name, and brand of the producer, and the

TABLE 3 Supplementary Optional Physical Requirements

Note 1—These optional requirements apply only when specifically requested.

	Class		
	N	F	C
Multiple factor, calculated as the product of loss on ignition and fineness, amount retained when wet-sieved on 45- μ m (No. 325) sieve, max, % ^a	—	255	—
Increase of drying shrinkage of mortar bars at 28 days, max, difference, in %, over control ^b	0.03	0.03	0.03
Uniformity Requirements: In addition, when air-entraining concrete is specified, the quantity of air-entraining agent required to produce an air content of 18.0 vol % of mortar shall not vary from the average established by the ten preceding tests or by all preceding tests if less than ten, by more than, %	20	20	20
Effectiveness in Controlling Alkali-Silica Reaction: ^c Expansion of test mixture as percentage of low-alkali cement control, at 14 days, max, %	100	100	100
Effectiveness in Contributing to Sulfate Resistance: ^d Procedure A: Expansion of test mixture: For moderate sulfate exposure after 6 months exposure, max, % For high sulfate exposure after 6 months exposure, max, %	0.10 0.05	0.10 0.05	0.10 0.05
Procedure B: Expansion of test mixture as a percentage of sulfate resistance cement control after at least 6 months exposure, max, %	100	100	100

^a Applicable only for Class F fly ash since the loss on ignition limitations predominate for Class C.
^b Determination of compliance or noncompliance with the requirement relating to increase in drying shrinkage will be made only at the request of the purchaser.
^c Fly ash or natural pozzolans meeting this requirement are considered as effective in controlling alkali aggregate reactions as the use of the low-alkali control cement used in the evaluation. However, the fly ash or natural pozzolan shall be considered effective only when used at percentages by mass of the total cementitious material equal to or exceeding that used in the tests and when the alkali content of the cement to be used does not exceed that used in the tests by more than 0.05 %. See Appendix XI, Test Methods C 311.
^d Fly ash or natural pozzolan shall be considered effective only when the fly ash or natural pozzolan is used at percentages, by mass, of the total cementitious material within 2 % of those that are successful in the test mixtures or between two percentages that are successful, and when the C_A content of the project cement is less than, or equal to, that which was used in the test mixtures. See Appendix X2 of Test Method C 311.

weight of the material contained therein, shall be plainly marked on each package. Similar information shall be provided in the shipping invoices accompanying the shipment of packaged or bulk material.

12. Keywords

12.1 fly ash; natural pozzolan; pozzolans

SUMMARY OF CHANGES

This section identifies the location of changes to this specification that have been incorporated since the last issue, C 618-02.

- (1) Added new note Note 4 to 6.1.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be revised every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

B. Fotografías tomadas del Área de Estudio.

B.1. Perfil del afloramiento puzolánico.



Fuente: Plinio Vera.

B.2. Material puzolánico.



Fuente: Plinio Vera.

B.3. Acceso a la cantera Vargas Peña.



B.4. Material Caolínico.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, P. E. M., SANTOS, P. M., CASTAÑO, S. C. 2006 Fundamentos de hidrogeología. Mundi-Prensa Libros.
- ALLER, L., LEHR, J. H., PETTY, R., BENNETT, T. 1987. DRASTIC: a standardized system to evaluate groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. National Water Well Association, Worthington, Ohio, United States of America.
- BARTOLOMÉ. J. F. (1997) El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. Boletín de la sociedad de cerámicas y vidrios. Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid
- CABRERA. R. (2010) Valoración de las tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción. Tesis de Grado. Facultad Metalurgia y Electromecánica. Carrera de Metalurgia. Cuba.
- COOPERACIÓN GEOLÓGICA PARAGUAYO-ALEMANA (1993) Análisis de material puzolanico en el Paraguay Oriental.
- CELABE. R. (2018) Geoturismo en el cerro Yaguarón, Ciudad de Yaguarón, Departamento de Paraguari. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción. Carrera de Geología. Paraguay.
- GARCÍA. A. (2018). Evaluación del riesgo y vulnerabilidad por fenómenos de deslizamiento o derrumbe de laderas del Cerro Perõ -Paraguari. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción. Carrera de Geología. Paraguay.
- GOMA. F. (1979). El cemento Portland y otros aglomerantes. Editores Técnicos y Asociados. Barcelona.

HERNANDEZ SAMPIERI, COLLADO & BAPTISTA (2014). Metodología de la Investigación 6° Edición. México.

JARAMILLO. D. (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia.

LÓPEZ GOROSTIAGA, O., GONZÁLEZ ERICO, E., MOLINAS, M., FRANCO, S., GARCÍA, S., & RÍOS, A. (1995). Mapa de reconocimiento de suelos de la Región Oriental (No. 892 M297ma 1995). Ministerio de Agricultura y Ganadería, Asunción (Paraguay). Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra.

MOPC – BGR (1999) Texto Explicativo del Mapa Geológico de la República del Paraguay. Escala 1: 100.000. Hoja Caacupe 5470. Dirección de Recursos Minerales (MOPC). Instituto Federal de Geociencia y Recursos Naturales. Asunción, Paraguay.

MOPC – BGR (1998). Texto Explicativo del Mapa Geológico de la República del Paraguay. Escala 1: 100.000. Hoja San José 5569. Dirección de Recursos Minerales (MOPC). Instituto Federal de Geociencia y Recursos Naturales. Asunción, Paraguay.

Palmieri, J. H., & Velázquez, J. C. (1982). Geología del Paraguay. Ediciones NAPA.

PARIS J.M.F (1978). Materiales de Construcción. Recuperado de materconstrucc.revistas.csic.es

PAR83/005.1986. Mapa Geológico de la República del Paraguay. Escala 1:1.000.000. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Ministerio de Defensa Nacional. Asunción, Paraguay.

SALAZAR. A. (2002). Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos, 3° edición, Corporación Construir, Cali.

SALINAS. N. (2014) Caracterización de las ocurrencias de caolín en afloramientos de la Formación Vargas Peña al Este y al Oeste de la Falla de Ypacarai. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción. Carrera de Geología. Paraguay.

SORIA. F. (1963) Puzolana y Cemento Puzolánicos. Materiales de Construcción Vol. 13 n° 111. Madrid.

TRAVERSA, L.P (2011). Determinación de la Composición de Morteros endurecidos de cal, híbridos, de cemento portland. Jornada de Técnicas de Reparación y Conservación de Patrimonio. Argentina.

VILLALBA. N. (2013) Caracterización del origen y uso de puzolana localizada en las cercanías de Carapeguá, departamento de Paraguari. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Asunción. Carrera de Geología. Paraguay.