

**CARACTERIZACIÓN DEL ORIGEN Y USO DE PUZOLANA
LOCALIZADA EN LAS CERCANÍAS DE CARAPEGUÁ, DEPARTAMENTO
DE PARAGUARÍ**

TOMASA NOEMÍ VILLALBA VÁZQUEZ

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

**ASUNCIÓN – PARAGUAY
DICIEMBRE 2013**

**CARACTERIZACIÓN DEL ORIGEN Y USO DE PUZOLANA
LOCALIZADA EN LAS CERCANÍAS DE CARAPEGUÁ, DEPARTAMENTO
DE PARAGUARÍ**

TOMASA NOEMÍ VILLALBA VÁZQUEZ

Orientadores:

Prof. MSc. HIGINIO MORENO RESQUÍN,
Prof. MSc. NARCISO CUBAS VILLALBA,
Prof. Lic. ALFREDO SIMÓN.GARCETE G

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

ASUNCIÓN – PARAGUAY
DICIEMBRE 2013

**CARACTERIZACIÓN DEL ORIGEN Y USO DE PUZOLANA
LOCALIZADA EN LAS CERCANÍAS DE CARAPEGUÁ, DEPARTAMENTO
DE PARAGUARÍ**

TOMASA NOEMÍ VILLALBA VÁZQUEZ

Aprobado en fecha 2 de Diciembre de 2013

Comité Asesor del Trabajo de Grado:

Prof. Lic. Alfredo Simón Garcete Gordillo

FACEN/UNA

Prof. MSc. Higinio Moreno Resquín

FACEN/UNA

Prof. MSc. Narciso Cubas Villalba

FACEN/UNA

(Firma)

Prof. MSc. .Higinio Moreno Resquín

Orientador

DEDICO

Mi dedicatoria es principalmente a Dios todo poderoso quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza de seguir adelante.

A mis padres Wenceslao Villalba y Daniela Vázquez, porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mis hermanos, tíos, primos, sobrinos, abuela y amigos. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

Expreso mis agradecimientos a:

Prof. MSc. Geol. Higinio Moreno Resquín, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de este trabajo de grado, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto

Prof. MSc. Geol. Narciso Cubas por darme siempre ánimo, apoyo y por brindarme material para la elaboración de este trabajo de grado.

Prof. Lic. Geol. Alfredo Garcete por facilitarme la obtención necesaria para la elaboración de este trabajo de grado.

A todos mis profesores de la Licenciatura en Mención Geología que me enseñaron tanto de la profesión como de la vida, impulsándome siempre a seguir adelante.

Muchas Gracias.

CARACTERIZACIÓN DEL ORIGEN Y USO DE PUZOLANA LOCALIZADA EN LAS CERCANÍAS DE CARAPEGUÁ, DEPARTAMENTO DE PARAGUARÍ

Autor: TOMASA NOEMÍ VILLALBA VÁZQUEZ
Orientador: Prof. MSc. HIGINIO MORENO RESQUÍN

RESUMEN

En esta investigación se ha llevado análisis del cual se desprende que tal influencia es conocida e interpretada sobre todo en la reacción puzolanica realizada en el laboratorio y toma como punto de partida las propiedades física y químico del material. Por lo tanto se ha planteado metodología de estudio sobre material puzolanico de la zona Caañabe Departamento de Paraguarí, distante a unos 2,5 km al Norte de la Ciudad de Carapeguá.

Dicha metodología influye en la determinación de ensayos de análisis físicos químicos y mineralógicos del material puzolanico.

Donde las cenizas volcánicas conjuntamente con los minerales amorfos o débilmente cristalizados, constituyen la denominada “fracción puzolanica” capaz de reaccionar con la cal en presencia de agua para formar compuestos cementantes.

De la composición e importancia del material puzolanico dependerá el grado de cementación alcanzada en los cuales se han producido naturalmente las condiciones necesarias para que ocurra la reacción puzolanica como así también la obtención de buenos resultados en la estabilización de producción de cemento.

La reacción del cemento con la puzolana influye en la resistencia a la compresión.

CARACTERIZAÇÃO DA ORIGEM E USO DE PUZOLANA LOCALIZADA NAS CERCANIAS DE CARAPEGUA, DEPARTAMENTO DE PARAGUARÍ.

Autor: TOMASA NOEMI VILLALBA VAZQUEZ

Lic. MSc. Geol. HIGINIO MORENO RESQUIN

RESUMEM

Nesta investigação levou-se análise do qual se desprende que tal influência é conhecida e interpretada sobretudo na reação puzolanica realizada no laboratório e tomada como ponto de partida as propiedades físico- mecânico e químico do material. Portanto propôs- se metodologia de estudo sobre material puzolanico da zona Caañabe Departamento de Paraguari, distante a uns 2,5 Km ao Norte da Cidade de Carapeguá

Esta metodologia influencia a determinação de testes físicos e químicos e análise mineralógica de material pozolânico.

Quando conjugado com a cinza vulcânica mineral amorfo ou mal cristalizada, são chamados de "porção pozolânico" capaz de reagir com a cal na presença de água para formar os compostos de cimento.

A partir da composição e da importância do material dependerá do cimento pozolânico grau atingido no qual foram produzidos naturalmente as condições de reação pozolânica para ocorrer, assim como a obtenção de bons resultados na estabilização da produção de cimento.

A reação com o cimento pozolânico influenciar a resistência à compressão.

CHARACTERIZATION OF ORIGIN AND USE POZZOLAN LOCATED NEARBY Carapeguá DEPARTMENT PARAGUARI

Author : TOMASA NOEMÍ VILLALBA VÁZQUEZ

Advisor: Prof.MSc.. MORENO HIGINIO RESQUIN

ABSTRACT

This research has been analysis which shows that such influence is known and performed mainly in the pozzolanic reaction performed in the laboratory and takes as its starting point the physico- mechanical and chemical properties of the material . Thus has arisen study methodology pozzolanic material Caañabe Department Paraguari area , located about 2.5 km north of the City Carapeguá .

Such methodology affects the determination assays chemical, physical mineralogical the pozzolanic material.

Where volcanic conjunction with amorphous or poorly crystallized mineral ash , are called " pozzolanic moiety " capable of reacting with lime in the presence of water to form cementitious compounds.

From the composition and importance of the material will depend on the degree pozzolanic cement reached in which have naturally produced the conditions for the pozzolanic reaction to occur as well as to obtain good results in the stabilization of cement production.

The reaction with the pozzolan cement influence the compressive strength .

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	1
2. REVISIÓN LITERARIA	5
2.1 Descripción del área de estudio	5
2.2 Suelo, Vegetación y Geomorfología	7
2.3 Antecedentes	8
2.4 Geología Regional.....	9
2.5 Eventos Tectónicos	9
2.6 Bosquejo Geología	9
2.7 Origen y Caracterización de Puzolanas	11
2.8 Antecedente Histórico	12
2.9 Variedades de Puzolana.....	12
2.9.1 Puzolana Naturales	12
2.9.2 Puzolana Artificial ó Cenizas Volantes	13
2.10 Formas del yacimiento	14
2.10.1 Nivel Superior o destape.....	14
2.10.2 Nivel Medio ó puzolanico.....	15
2.10.3 Nivel Inferior o Estéril.....	15
2.12Explotación y extracción	15
2.12 Empleo.....	16
3. MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Metodología de Trabajo.....	17
3.2 Descripción Macroscópica de los tres niveles de destape	17
3.2.1 Nivel superior.....	17
3.2.2 Nivel Medio	17
3.2.3 Nivel Inferior	17
3.3 Descripción Microscópica	18
3.4 Evaluación de materiales puzolanico	19
3.5 Ensayos Análisis Químicos	20
3.6 Índice de Actividad Puzolanico (Norma ASTM C311)	20

3.7 Fases Mineralógica	23
3.8 Requisitos Químicos	27
3.9Análisis de Resultados	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
5. CONCLUSION	29
REFERENCIAS BIBLIOGRAFIA	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa del Paraguay, extraído de DigiAtlas.com.....	5
Figura 2: La ciudad de Carapeguá, al norte del Departamento de Paraguari, Extraído de Google Earth	6
Figura 3: El yacimiento puzolanico ubicada a 84 km. de la ciudad de Asunción.....	6
Figura 4: Mapa Base del Área de Yacimiento de Puzolana Zona Caañabe 1994	7
Figura 5: Vista Panorámica de la Vegetación existente en el área del Yacimiento.....	10
Figura 6: Yacimiento del material puzolanico	10
Figura 7: Franja del material puzolanico	10
Figura 8: Contacto entre los destape superior e inferior del Material puzolanico.....	11
Figura 9 Explotación y Extracción del material puzolanico	15
Figura 10 Descripción Microscópica. Agregados silíceos amorfos y minerales micáceos	18

LISTA DE CUADROS

Cuadro Nro.1: Destape de Pozos.	19
Cuadro Nro.2: Evaluación de Potencia Media.....	19
Cuadro Nro.3: Evaluación de Volumen.	20
Cuadro Nro.4: Evaluación de Tonelaje.	20
Cuadro Nro.5: Resultados de Ensayos Análisis Químico.	20
Cuadro Nro.6: Tipos de Arena Graduada Standarizada.	21
Cuadro Nro.7: Resultado del porcentaje de Fluidez.	22
Cuadro Nro.8: Comparación de Análisis Químico.	24
Cuadro Nro.9: Índice de puzolanidad con cemento portland norma ASTM C.311– 87.....	25
Cuadro Nro.10: Aglomerantes Hidráulicos de Cemento Portland. Ensayos de Resistencia Mecánica.....	26
Cuadro Nro.11: Requisitos químicos de tipos de puzolanas	27

1. INTRODUCCION

Ocurrencias de materiales puzolánicos en la Región Oriental del país de origen natural con interés económico e industrial, cercanas a la planta de molienda de Clinker de Industria Nacional de Cemento (INC), fueron exploradas en el triángulo comprendido por las ciudades de: Villeta ($25^{\circ} 30' - 57^{\circ} 34'$), Paraguarí ($25^{\circ} 37' - 57^{\circ} 09'$) Carapeguá ($25^{\circ} 46' - 57^{\circ} 13'$) con una superficie de 387 Km².

La puzolana es un recurso imprescindible para el desarrollo industrial en la producción de cemento. La cantidad y calidad de puzolana y su disponibilidad puede variar según las necesidades generadas y según la gestión que se haga de su uso industrial. Es indispensable que su abastecimiento sea seguro para que una industria se establezca permanentemente en su producción de cemento. (Orue, 1992).

Todos los países del mundo incluyendo Paraguay, producen una contaminación y/o degradación en la explotación de materia prima. Están siendo principalmente alterados por el hombre debido a nuevas acciones como ser el uso extremo de maquinarias pesadas, productos detonantes y otros.

El presente trabajo se pretende determinar el origen, las propiedades físicas y químicas y recomendar de acuerdo a su calidad el uso adecuado de la puzolana para la producción de cemento buena calidad.

Las puzolanas son, materiales de construcción de una gran antigüedad, y el mecanismo fundamental que tiene lugar al reaccionar con la cal se conoce desde hace mucho tiempo, en líneas generales. Sin embargo, los detalles de las reacciones químicas que transcurren durante el proceso de fijación de la cal resultan, aun hoy día, bastante oscuros, por tratarse de una mezcla de productos complejos, cristalinos y amorfos o vítreos, del tipo de los silicoaluminatos de calcio, con varias moléculas de agua de cristalización.

Cuando las cenizas volcánicas y los minerales capaces de reaccionar con el Óxido de calcio no encuentran a lo largo de su historia geológica condiciones propicias para el desarrollo de la reacción puzolánica, mantienen su condición original pudiendo ser objeto de una cementación en laboratorio, que simulando el proceso natural

Del análisis de las definiciones previas surgen como necesarios para la reacción puzolánica una determinada finura del material, que se expresa fundamentalmente por la superficie específica de sus partículas; un activador- como el hidróxido de calcio- que genere un ambiente con elevado pH a fin de lograr la solubilización de los compuestos silíceos o aluminosos de débil cristalinidad y la presencia de agua en el medio reaccionante.

La reacción puzolánica se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante el estudio del consumo del hidróxido de calcio de una solución por parte de las partículas puzolánicas (Largent, 1978).

JUSTIFICACIÓN

La ocurrencia de material puzolánico de origen natural en el país y que dicha materia prima es factible en su uso como agregado en el cemento en Paraguay, representaría ventaja importante al INC, sobre todo la cercanía al descubrimiento de nuevas ocurrencias y del potencial de ocurrencia cada vez más cerca al centro de consumo.

Debido a la escasa información existente, sobre el material en cuanto a su origen, calidad, cantidad y aplicación, el presente trabajo se justifica mediante la realización de análisis que aporten al conocimiento del material puzolánico.

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar el origen y las propiedades físico-químicas de material puzolánicos de materiales de origen volcánicos ubicadas en la zona Norte del Departamento de Paraguarí de la República del Paraguay y su aplicación en la fabricación del cemento.

ESPECIFICOS

- Caracterizar el origen y modo de ocurrencia.
- Identificar la composición mineralógica del material.
- Analizar las propiedades físicas y químicas del material mediante ensayos de resistencia a la compresión y ensayos químicos.
- Determinar la calidad del material puzolánicos comparando los valores obtenidos en los ensayos con los patrones estandarizados en la Norma ASTM C618-80.
- Recomendar su uso y explotación racional del recurso.

2 REVISIÓN LITERARIA

2.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra localizado en la Región Oriental del Paraguay a 2,5 km al Norte de la Ciudad de Carapeguá(Fig.2), Departamento de Paraguari(Fig.1), en el lugar denominado Costa del Caañabe, con Padrón Nro. 427(Fig.4), cuyas coordenadas son: Latitud Sur 25° 44' y Longitud Oeste 57° 14'. Entre los accesos de mejores condiciones al sitio se hallan la ruta Nacional N° 1, con pavimento asfaltico de 70 Km en toda su extensión y a través del ramal Villeta, desvío Nueva Italia(Fig.3), empalme Carapeguá con 12 Km asfaltado y 35 Km no pavimentado, esta última transitable solo en épocas de factores climáticos favorables



Figura 1: Mapa del Paraguay.



Figura 2: Plano de la ciudad de Carapeguá, extraído de Google Earth.



Figura. 3 Detalle del yacimiento puzolánico ubicada al Norte de Carapeguá.

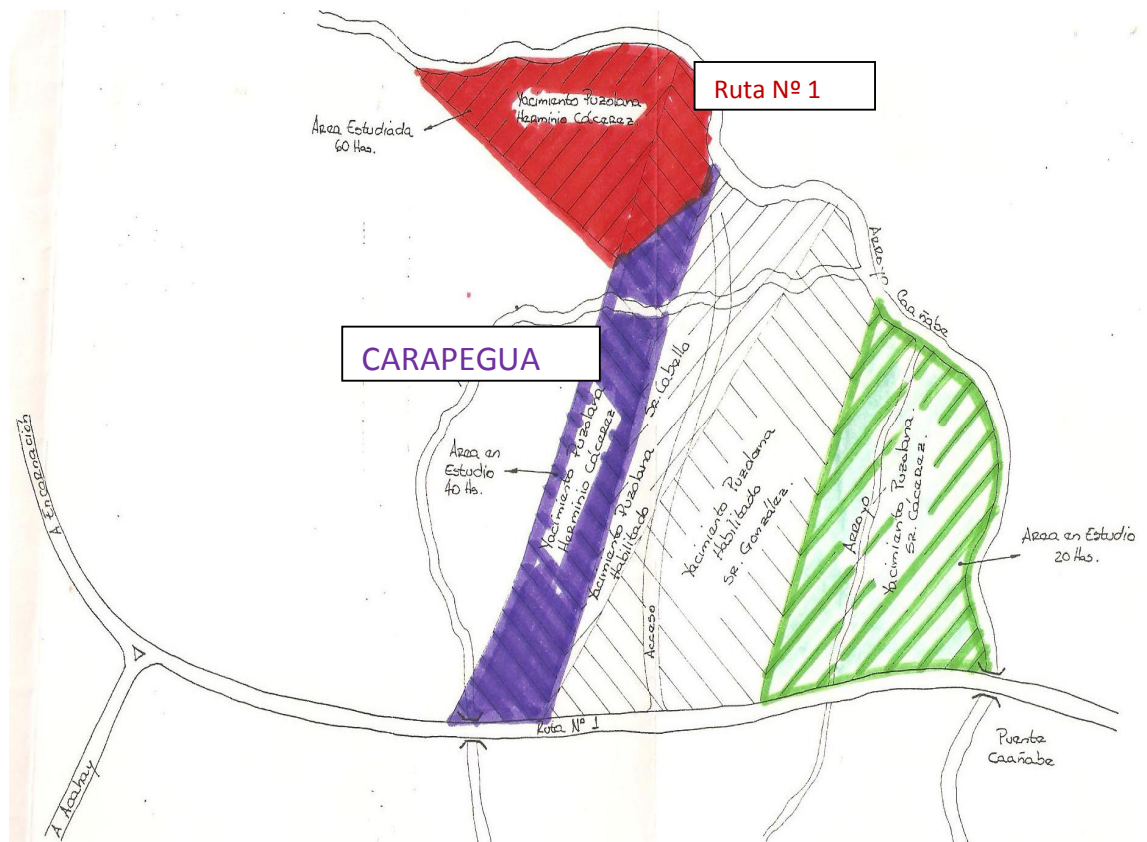


Figura 4: Mapa Base del Área de Yacimiento de Puzolana Zona Cañabe (Báez 1994).

2.2 Suelo, Vegetación y Geomorfología.

El suelo del área han sido identificados según el horizonte de diagnóstico y la clase taxonómica a las que pertenecen: Ultisol, Alfisol y Entisol.

En el valle del arroyo Cañabe denominado Cerro Arruaí, el cual alcanza una altura de 222 m sobre Nivel del Mar en una planicie de 70-80m. Al Sur de los valles de Acahay y del arroyo Cañabe con una orientación noroeste y una morfología ondulada se extiende una plataforma suave con excepcionales elevaciones aisladas, producto de una erosión selectiva. (Texto explicativo Hoja PARAGUARI 5469 1998).

Aspecto geomorfológico resaltante del área constituye el valle del Cañabe de dirección NW – SE y ancho entre 10 a 15Km, surcadas por los arroyos: Cañabe, Mbaesy e Yuquyry. Estas extensas planicies aluviales presentan una superficie llana con cotas que varían entre 70 y 80 m. limitando al Norte con las cordillera de los

Altos y relieves residuales como los cerros: Ñanduá, Arruaí, Yaguaron, Curupayty y Palacios. En cuanto al Sur los accidentes topográficos son pocos acentuados, originando suaves lomadas dispuestas paralelamente al valle. (Orue y Báez 1995)

La fisiografía del Valle del Caañabe es caracterizada en dos zonas; altas y bajas, siendo las zonas bajas los sectores más prometedores para la localización de yacimientos. Factores que motivaron a emprender este trabajo a fin de lograr un conocimiento geológico, industrial más exacto con miras a la explotación y aprovechamiento al máximo de sus reservas dadas la primicia en dicha región.



Figura 5 Vista panorámica de la vegetación existente en el área del yacimiento

2.3 Antecedentes

La cantera ubicada en el Departamento de Paraguari, Caañabe, zona de Carapeguá, explotada a cielo abierto el depósito de puzolana desde los años 1995 hasta la actualidad, estimando una producción 19.968.893 Toneladas. Orué y Báez (1995), realizaron una evaluación de materiales puzolánicos, perforando 10 pozos en una superficie evaluada de 53.650 m², con la cual calcularon un depósito de 13.868.525 Tn de puzolana para la provisión a la Industria Nacional del Cemento (INC) en Villeta.

2.4 Geología Regional

Toda el área presenta notables secuelas de tectonismos posteriores. El más notorio de la zona constituye el evento tectónico distensional del tipo rifting de edad mesozoica. El desplazamiento de la corteza produce estructuras de tipo graben, como por ejemplo los graben de Acahay y Asunción.

En el Graben de Acahay se encuentran los sedimentos de la Formación Ybytymi que se forman sintectonicamente y en el tiempo de pre-actividad magmática. Durante esta actividad magmática a más del emplazamiento de diques y conos, producen derrames basálticos, con espesores relativos de 300m. González Núñez, et al (1998)

Los valles de la zona se encuentran casi siempre con una cobertura cuaternaria, generalmente de poco espesor y consistente principalmente de sedimentos limo-arcillosos, no consolidado. (Bitschene & Lippolt 1986).

2.5 Eventos Tectónicos

Diversos fenómenos tectónicos en relación a la apertura del Océano Atlántico y las actividades magmáticas del Mesozoico afectaron este sector de la cuenca del Paraná, dando origen a estructuras como fosas y altos estructurales

2.6 Bosquejo Geológico

El Paraguay Oriental geológicamente se ubica en el extremo occidental de la cuenca del Paraná, caracterizada como una cuenca Pericratónica representadas por complejos graníticos del Proterozoico y sedimentos químico-clásticos del paleozoico de origen marinos continentales, fluviales, fluvio-glaciales, soterradas por sedimento fluvioeólicos y extensos derrames basálticos genéticamente asociados con manifestaciones alcalinas atribuidas al Mesozoico. (Orue y Báez 1995).

El área de estudio delimitada geológicamente se localiza dentro de la fosa tectónica de dirección NW – SE, referidas en la bibliografía moderna como “Rifts de Asunción” en la cual predomina manifestaciones ígneas alcalinas emplazadas en forma de cuerpos intrusivos y extrusivos. Subordinadamente se depositan sedimentos continentales fanoloméricos, sujetos a procesos de erosión evidenciando relieves remanentes vinculados a los cerros de Yaguarón, Curupayty y Ñandua.

El marco geológico culmina con la deposición de sedimentos detríticos modernos, inconsolidado, sobre una paleo superficie irregular bajo la influencia de agentes fluviales y eólicos. Estos depósitos recientes y rocas preexistentes intemperizados originan suelos propiamente dichos que en el área ocupan posiciones fisiográficas de zonas altas y bajas.



Figura 6 Yacimiento del material puzolanico.



Figura 7: Franja de material puzolanico.

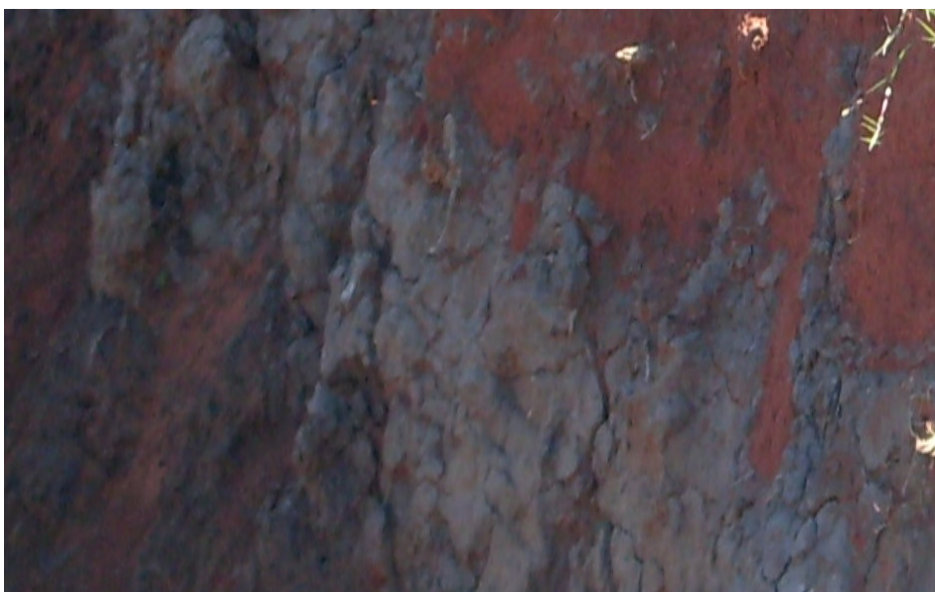


Figura 8 Contacto entre los destape superior e inferior del material puzolanico.

2.7 Origen y Caracterización de las Puzolanas

Las puzolanas son rocas naturales de origen volcánico de naturaleza silico aluminosas. No tienen de por sí propiedades hidráulicas pero en presencia de agua e hidróxido cálcico, a la temperatura ambiente determinados constituyentes de la misma, son capaces de reaccionar y dar lugar a la formación de compuestos cementantes de la misma naturaleza que los que se originan en la hidratación del clinker portland. (Según Norma ASTM C 618-80).

Aunque los compuestos químicos son similares, el material vídrioso formado por expulsión violenta del magma fundido en la atmósfera y es más reactivo con la Cal que la ceniza volcánica o puzolana natural formada por erupciones menos violentas.

La generación de puzolanas naturales adecuadas está, por lo tanto, limitada a solo a algunas regiones del mundo.

Las buenas puzolanas a menudo se encuentran como cenizas finas, pero también en forma de grandes partículas o tufos (ceniza volcánica solidificada) que deben ser triturados para emplearse como puzolana. Sin embargo, la calidad de dichas puzolanas puede variar grandemente, incluso dentro de un mismo depósito.

Las puzolanas naturales son empleadas igual que las puzolanas artificiales.

2.8 Antecedentes Históricos

Recibe su nombre de la población de Pozzuoli, en las faldas del Vesubio, donde ya en tiempos romanos era explotada para la fabricación de cemento puzolanico. Después el término fue extendiéndose a todos aquellos materiales que por sus propiedades similares a la Puzolana de origen natural puede tener usos sustitutivos.

La civilización romana fue la que descubrió todo el potencial que estos materiales podrían ofrecer. De esta forma uno de los mejores exponentes que podemos encontrar es el Panteón de Roma. Construido en el año 123, fue durante 1.500 años la mayor cúpula construida y con sus 43,3 metros de diámetro aún mantiene records, como el de ser la mayor construcción de hormigón no armado que existe en el mundo. Para su construcción se mezcló cal, puzolana y agua; añadiendo en las partes inferiores ladrillos rotos a modo de los actuales áridos, aligerando el peso en las capas superiores usando materiales más ligeros como piedra pómez y puzolana no triturada.

En la provincia de Ciudad Real, la puzolana fue utilizada en la construcción de las murallas de la ciudad medieval de Alarcos mezclándola con cal. (Germán Prat 1989).

2.9 Variedades de Puzolana

2.9.1 Puzolanas naturales

Las puzolanas naturales esencialmente son cenizas volcánicas de actividades volcánicas geológicamente reciente. Se define como "materiales silíceos que, no poseyendo por si mismos propiedades cementantes, contienen constituyentes que, a la temperatura ordinaria, se combinan con la cal, en presencia de agua, para dar compuestos dotados de escasa solubilidad y de propiedades resistentes".

Se habla también de puzolanas hidráulicas y de puzolanas activas, definiéndolas como materiales naturales, formados por silicatos, aptos para producir, una vez mezclados con cal, pastas hidráulicas dotadas de resistencias mecánicas y también de estabilidad frente a las aguas de mar y soluciones de sulfatos.

Se ha comprobado que un estado no muy avanzado de desvitrificación favorece la actividad puzolánica de los materiales, aumentando, de modo especial su velocidad de reacción de la CAL.

En las zonas volcánicas de la tierra se encuentran, con frecuencia, tales materiales Puzolánicos, piroclásticos, dotados de escasa o nula coherencia.

Los materiales piroclásticos pueden dividirse de la siguiente forma:

a) Productos magmáticos actuales (magma en el momento de la erupción).

Se incluyen aquí las escorias, lapillis, bombas, pómez y cenizas pumicas.

b) Productos magmáticos intrusivos, efusivos o explosivos, del tipo precedente, una vez consolidados.

c) Materiales extraños, arrastrados de las paredes del volcán.

d) Materiales mixtos, mezclas de los anteriores, tales como cenizas y tobas volcánicas.

En general, las puzolanas contienen otros constituyentes, entre los que figuran fragmentos de rocas ígneas y sedimentarias, recientes o metamorfozadas.

Cuando se trata de productos poco o nada alterados, se puede hablar de puzolanas riolíticas, traquiticas, leucíticas, basálticas, etc.

Como materiales de comportamiento puzolánico citaremos solamente los más interesantes, entre los que figuran los siguientes:

De Origen Orgánico: Las diatomitas como la harina fósil, o "*kieselgur*", constituidas fundamentalmente por sílice (SiO_2), con una riqueza que oscila entre el 65 y el 90 %.

A 871°C se transforma está en tridimita y luego en cristobalita, perdiendo totalmente sus propiedades puzolánicas.

De origen mineral: La sílice hidratada, geliforme, derivada del ataque ácido de rocas silicatadas, con una elevadísima actividad puzolanica, reacciona con gran rapidez con la cal. Con frecuencia se encuentra asociada con arcillas caoliniticas o montmorilloniticas.

2.9.2 Puzolana artificial o cenizas volantes

Las puzolanas artificiales son el resultado de diversos procesos industriales, generalmente como subproductos. Las puzolanas artificiales más importantes son arcilla cocida, cenizas de combustible pulverizado, escoria de alto hornos granulada y molida.

Puzolana de origen artificial pueden ser:

Las arcillas calcinadas, que poseen sílice y alúmina libres, según: $2 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{calor}} \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$

También se acepta que la deshidratación de la caolinita origina $2 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, capaz de endurecer en presencia de agua saturada de cal, formando el hidrato $2 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Las bauxitas calcinadas.

Las cenizas volantes.

La reacción de las cenizas volcánicas con la cal, en presencia de agua, a temperatura ordinaria, constituye el punto más importante en la aplicación de estos materiales. Se dice que estas cenizas son puzolánicas, ya que se comportan como puzolanas naturales y aun mejor que estas. En la práctica puede afirmarse que el papel desempeñado por las cenizas es muy similar al de las puzolanas, con la ventaja sobre las mismas de que se obtienen ya en estado de gran finura, sin necesidad de molerlas. Las características de las cenizas volantes dependen de las propiedades del carbón quemado en la central, y de la naturaleza del mismo. Así, pues, existirían cenizas de antracita, de hulla y de lignito, siendo su composición variable de unas a otras. De todas formas, y salvo raras excepciones, se caracterizan por su elevado contenido en sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), así como por su baja proporción de cal (CaO).

2.10 Formas del yacimiento

Los depósitos puzolánicos se distribuyen aisladamente en aquellas zonas bajas dentro del valle, caracterizadas por una sucesión horizontal en aparente contacto gradual y neto, identificándose macroscópicamente tres niveles: superiores, medio e inferior. (Báez, 1992)

2.10.1 Nivel superior o destape

Se halla constituido por una capa de arcilla orgánica, muy cohesiva, de color oscuro, en partes algo arenosa, con un espesor promedio de 0,60 m. algunas veces están ausente y dejan al descubierto al medio fácilmente identificable por su tonalidad más clara.

2.10.2 Nivel medio o Puzolanico

Este nivel presenta detritos de granulometría fina a muy fina, de tonos claros, cohesivos en relación al porcentaje de humedad, con espesores de variables entre 0,80 – 1,20 m en forma de bolsadas lenticulares, subyaciendo al nivel superior en contacto transicional. De forma diferente el nivel inferior se distingue por su variación textural clásica de grano medio.

Sin embargo cuando este nivel es retrabajado son frecuentes hallar masas pequeñas; compactas (terrones) diseminados en sedimentos más reciente.

2.10.3 Nivel inferior o Estéril

La fracción areno-arcillosa se presenta como componente predominante, los granos de arena son en su mayoría de cuarzo, en ocasiones con concreciones ferruginosas. Generalmente cuando se hallan expuestas en superficie sugieren sectores no favorables para la localización de estos depósitos.

2.11 Explotación y extracción

El yacimiento de la puzolana (material grisáceos), presenta un área de explotación de 53.650 m², se encuentra a cielo abierto, y para su extracción se utiliza maquinarias pesadas.

La puzolana que se extrae de la cantera requiere de un proceso de secado con el uso del Bio Fuel, para obtener un producto final (puzolana seco). Para poder llevar a cabo dicho proceso es necesario reducir el porcentaje de humedad contenido en la puzolana; molerla y así obtener para la dosificación del cemento.



Figura 9 Explotación y Extracción del material puzolanico.

2.12 Empleo

Los principales usos y aplicaciones de la roca volcánica conocida como puzolana son ideales para amplia variedad de aplicaciones incluyendo:

Paisajismo: su bajo peso en relación con el tamaño y su aspecto rústico y exótico ofrecen una solución funcional y estéticamente innovadora en la jardinería creativa, donde la puzolana es un sustituto eficaz del césped en zona con carencia de agua de riego y sustituto de otros materiales como la perlita.

Drenaje Natural: por su calidad porosa, la puzolana es un drenaje natural para jardines e instalaciones deportivas al aire libre como los campos de futbol.

Medio de cultivo: la puzolana es un sustrato inerte, aire ante y de alto drenaje ideal para cultivos.

Hormigones de baja densidad: su alta resistencia y su peso relativo bajo la constituyen en una opción muy densa para la elaboración de este tipo de compuestos.

Filtro Natural: su alta porosidad la convierte en un filtro natural sumamente efectivo para líquidos.

Aislante térmico: utilizada en la construcción debido a su capacidad como barrera al paso del calor.

Arqueología: como protector de restos arqueológicos de baja densidad para conservación.

Abrasivo: utilizada como ingrediente en detergentes abrasivos.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Metodología de Trabajo

La investigación para el presente trabajo de grado se enmarco dentro de los siguientes aspectos: documental, de campo y experimental, siguiendo la siguiente metodología.

La recopilación bibliográfica constituye el punto de partida de este trabajo de investigación. Se consultaron trabajos previos orientados al bosquejo geológico, informes geológicos y geotécnico, planos de ubicación y accesos, planos topográficos, resultados de ensayos de puzolana, que son de vital importancia para el análisis e interpretación del estudio geológico, debido a que proporciona información sobre las vías de acceso, formas de relieve, estructuras geológicas, geología regional y geología local.

Se efectuaron salidas al campo para la obtención de información preliminar sobre las características del afloramiento, efectuar levantamientos geológicos del área de estudio, apertura de trincheras que permitieron definir el perfil geológico de yacimiento, caracterizar el material de destape y el espesor del cuerpo mineralizado y definir el comportamiento geológico del material con actividad puzolánica del terreno investigado. En base a los datos obtenidos en el estudio de investigación geológica y mineralógica, se ha orientado la explotación de materiales con actividad puzolánicas.

Todo este trabajo, fue debidamente marcado y organizado con la ayuda de mapas, la Hoja Paraguarí, GPS, libreta de campo, bolsas para la toma de muestras y pico, con la finalidad del desarrollo de trabajos posteriores en laboratorio.

Se recolectaron varias muestras y solo se tomara como representativas doce, las cuales fueron colocadas en bolsas de plástico, etiquetadas y enumeradas con el nombre de Pz1 (Puzolana), Pz2, Pz3, Pz4,Pz12.

En el laboratorio se procedió, a la toma de fotos, determinación de la composición mineralógica por medio de análisis microscópico del material puzolanico en las muestras tomadas en el campo.

Se realizaron ademas ensayos químicos y físico- mecánicos para determinar el comportamiento puzolánico de un material.

Durante el trabajo de oficina se realizó la recopilación y ordenamiento de la información obtenida en campo, en el laboratorio y en las referencias consultadas, así como también el análisis y procesamiento de las informaciones de los mapas e informes técnicos, obtenidas a fin de lograr los objetivos propuestos.

3.2 Descripción Macroscópica de los tres niveles de destape

3.2.1 Nivel superior

Está constituido por una capa de arcilla orgánica, muy cohesiva, de color oscuro, en partes algo arenosa, con un espesor promedio de 0.50m. Algunas veces están ausentes y dejan al descubierto al nivel medio, fácilmente identificable por su tonalidad más clara.

3.2.2 Nivel medio

Presenta material constituido de agregados finos (polvo volcánico), medios (Fracción limosa) y detritos gruesos (Fracción arenosa), representados esencialmente por granulometría fina a muy fina de tonos claros, cohesivas en relación al porcentaje de humedad, con espesores variables entre 0.50 - 1.00 m, se comporta en forma de bolsadas lenticulares, subyaciendo al nivel superior en contacto transicional. De forma diferente el nivel inferior se distingue por su variación en la coloración. Sin embargo cuando este nivel es retrabajado son frecuentes hallar masas pequeñas, compactas (terrones) diseminados en sedimentos más recientes.

3.2.3 Nivel inferior.

La fracción arenosa - arcillosa se presenta como componente predominante, los granos de arena son en su mayoría de cuarzo, en ocasiones con concreciones ferruginosa. Generalmente cuando se hallan expuestas en superficie sugieren sectores no favorables para la localización de estos depósitos.

3.3 Descripción Microscópica

Lamina delgada 40X. Puzolana. Roca de color claro, no consolidado, con granulometría entre 4 a 15mm. Material volcánico fragmento en forma de cenizas y sedimentos post volcánico. (Fig.5)



Fig.10 Descripción Microscópica. Agregados silíceos amorfos (Si) y minerales micáceos.(Bi).

3.4) Evaluación de Materiales Puzolánicos

3.4.1) Pz: Puzolana

Pozos	Destape	Espesor
Pz 1	0.60	0
Pz 2	0.40	1.10
Pz 3	0.50	1.10
Pz 4	0.40	1.20
Pz 5	0.80	0.80
Pz 6	0.80	0
Pz 7	0.60	1.20
Pz 8	0.60	1.00
Pz 9	0.70	2.00
Pz 10	0.70	0.50
Pz 11	0.45	1.35
Pz 12	0.50	0.80
		Öe: 11.05 m

Cuadro 1: Destape de Pozos

3.4.2) Potencia media

Öe: 11,05 m	Pm: $\bar{o}e \div n$
n: 10	Pm: $11,05 \div 10$
	Pm: 1,10m

Cuadro 2: Evaluación de Potencia Media

3.4.3) Superficie Evaluada

S: 53.650 m².

3.4.4) Volumen

S: 53.650 m ²	V: S × Pm
Pm: 1.10m	V: 53.650 m ² × 1.10m
	V: 59.015 m ³

Cuadro 3: Evaluación de Volumén

3.4.5) Tonelaje

V: 59.015 m ³	T: V × Ñ
Ñ: 2.35	T: 59.015 m ³ × 2.35
	T: 13.868.525 tn.

Cuadro 4: Evaluación de Tonelaje

3.5) Ensayos Análisis Químico

Elementos químicos	Porcentaje (%)
Silice Total. SiO ₂	76.60
Alúmina. Al ₂ O ₃	5.70
Hierro Fe ₂ O ₃ .	6.30
Calcio CaO.	0.33
Magnesio MgO	0.54
Potasio K ₂ O	1.23
Pérdida a 1000 °C.	8.70

Cuadro 5: Resultados de Ensayos de Análisis Químico

3.6) Índice de actividad puzolánica con cemento Portland (Norma ASTM – C 311)

La muestra para todos los ensayos debe tener una finura mínima de 300 cm²/gr y un retenido del 12% sobre tamiz Nro. 525. Se efectúan los ensayos sobre muestras de 100 Kg.

Moldear las muestras de un mezcla patrón y de una mezcla prueba según método de ensayo C.109.

El cemento Patrón usado en la mezcla patrón deberá cumplir con los requisitos de especificaciones C-150 y deberá ser el tipo y marca del mismo cemento que se utilizara en el ensayo.

En la prueba reemplazar 35% del volumen absoluto de la cantidad de cemento utilizado en la muestra patrón por un volumen absoluto igual de la muestra prueba.

La muestra para todos los ensayos debe tener una finura de 3000 cm²/gr y un retenido del 12% sobre tamiz Nro 525, se efectúan los ensayos sobre muestras de 100Kg.

Mezcla Patrón: está constituido por 250gr de cemento Pórtland, 687 gr de arena graduada Standarizada

Arena graduada Standarizada

Tamiz Nro	Retenido (Gr)	Porcentaje (%)
30	14	2.03
50	481	70.0
100	192	27.9
Total	687	100

Cuadro 6: Tipos de Arena Graduada Standarizada

Formula

Fluidez (F): valor rango 110 ± 5%

F: $\frac{Df - Di}{Di} \times 100\%$

Di

F: $\frac{21,5 - 10,2}{10,2} \times 100$

10,2

F: 110%

Df: promedio del valor del diámetro.

Di: Longitud del diámetro inferior

Mezcla Prueba: En la muestra prueba reemplazar el 35% del volumen absoluto de la cantidad de cemento utilizado en la muestra patrón por un volumen absoluto igual de la muestra prueba.

Cemento Patrón: 250gr

Valor constante: 87.5.

Cemento: 162.5 gr.

Fórmula

Peso Pz: $87,5 \times D.Pz$

D. Cemento

Peso Pz: $87,5 \times 2,38$

3.08

D. Pz: Densidad de la Puzolana

D.Cemento: Densidad del Cemento

Peso Pz	H2O	Fluidez	Densidad
76.60gr	163 cm	111	2,38

Cuadro 7: Resultado del porcentaje de Fluidez

Indice de Actividad Puzolánica a 7 días ASTM C-311

R: 190 Kg/cm²

Almacenamiento de la muestra

Después de moldear las muestras y los moldes sobre una base en la sala húmeda o cámara 73.4 °F \pm 3.0 (23.0 °C \pm 1.7) durante 20 a 24 horas mientras que está en la sala húmeda o cámara y sacar los cubos de sus moldes y colocarlos en unos contenedores sin aire y almacenar a 100 °F (40 °C) durante 28 días. Dejar que las muestras se enfríen a 23.0 °C \pm 1.7 antes de ensayar o probar. Prueba de compresión: determinar la capacidad de compresión de las 3 muestras de la mezcla patrón y las de prueba (la base es 5 cm²).

INDICE DE PUZOLANICIDAD (I.P)

Fórmula

Capacidad promedio de los cubos de prueba x 100

Capacidad promedio de los cubos patrón

3.7 Fases mineralógicas:

Se observa en las 4 muestras son: Cuarzo como fase mayoritaria y feldespatos en menor proporción. Los feldespatos se corresponden a las fases: oligoclasa, anortita, labradorita y bytownita (silico aluminatos de Ca, Fe, K, y Na)

Preparación de las Muestras.

A) Materia en estudio: En la zona de cantera se han extraído muestras de 12 pozos que por su textura se clasifican en:

- 1) Muestra A: pozo 1 al 6
- 2) Muestra B: pozo 7 al 12

Ambas muestras fueron secadas, trituradas a un tamaño inferior a 3.2mm y molienda en Laboratorio hasta obtener una finura de 20% detenido en tamiz nro.200. Lo mismo se ha hecho con la puzolana de Ybytymi.

B) Cemento Patrón: El cemento empleado en las mezclas es portland puro preparado en molienda de laboratorio a 3500 cm²/gr., a partir de clinker portland Vallemí y yeso sintético.

C) Inerte: se preparó arena molida a una finura de 18% retenido en tamiz de Nro. 200 y su posterior mezcla con el cemento patrón.

ANALISIS QUIMICO				
DETERMINACIONES	PUZOLANA CARAPEGUA MUESTRA .A(%)	PUZOLANA CARAPEGUA MUESTRA B(%)	PUZOLANA YBYTYMI (%)	ESPECIFICACION ASTM C618-78 (%)
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	90.8	90.4	89.9	≥ 70.0
SO ₃	0.002	0.003	0.006	≤ 4.0
P.F	4.5	6.2	6.4	≤ 10.0
MgO	0.6	0.6	0.3	≤ 5.0
CaO	1.3	1.4	1.0	
Alcalis en Na ₂ O	2.2	1.2	2.4	≤ 1.5
<p>Muestra A: Corresponde al pozo nro. 1 al 6</p> <p>Muestra B: Corresponde al pozo nro. 7 al 12</p>				

Cuadro 8: Comparación de Análisis Químico

INDICE PUZOLANICA CON CEMENTO PORTLAND NORMA ASTM C.311– 87		
CEMENTOS	RESISTENCIA A LA COMPRESION 28 DIAS Kg/Cm ²	INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA %IP
CEMENTO PATRON (TIPO I)	240
CEMENTO PATRON 70% Y PUZOLANA CARAPEGUA M.“ A“ 30%	184	76.7%
CEMENTO PATRON 70% Y PUZOLANA CARAPEGUA M.“ B“ 30%	224	93.3%
CEMENTO PATRON 70% Y PUZOLANA YBYTYMI M.“ A“ 30%	223	92.9%
OBS: Según la Norma ASTM C– 311–87 a establecer un valor de I.P 75% como mínimo.		

Cuadro 9: Índice de puzolanicidad con cemento portland norma ASTM C.311– 87

AGLOMERANTES HIDRAULICOS: CEMENTO PORTLAND			
ENSAYOS DE RESISTENCIA MECANICA			
CEMENTO DOSIFICACION		COMPRESION Kg/cm ²	
		3	28
CEMENTO PORTLAND TIPO I Patron 3200 Blaine		330	463
CEMENTO PORTLAND TIPO I PATRON 3200 BLAINE	85% Ybytymi 15% 3750 Blaine	265	430
	85% Carapegua M. A 15% 3700 Blaine	288	434
	85% Carapegua M. B 15% 3700 Blaine	287	431

Cuadro 10: Aglomerantes Hidráulicos de Cemento Portland. Resultados de los Ensayos de Resistencia Mecánica

3.8 Los requisitos químicos exigidos para el empleo de estas puzolanas en el cemento son:

La Norma ASTM C 618 – 80 tanto las puzolanas naturales como las cenizas volantes. Ambas se clasifican conjuntamente en:

Clase N: puzolanas naturales o calcinadas.

Clase F: cenizas volantes resultantes de la combustión de antracitas o carbones bituminosos.

Clase C: cenizas volantes obtenidas en la combustión de lignitos o carbones sub- bituminosos.

Puzolana Dios Analíticos	Adición N (%)F (%)C (%)
Si2O3+ Al2O3+ Fe2O3	≥ 70.070,0 50
SO3	≤ ...4.05,05.0
Humedad	≤ ...3,03,03,0
Perdida por Calcinación	≤ ...10,012.06,0
MgO	≤...5,0.....5,0..... 5.0
Alcalis como Na2O	≤ ...1,51,51,5

Cuadro 11: Requisitos químicos de tipos de puzolanas.

3.9 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- En el cuadro Nro. 8, las muestras A y B presentan cierta diferencia en cuanto a la perdida por calcinación, aluminio y el contenido de álcalis. No se nota diferencia apreciable respecto a la Puzolana Ybytymi. Responden a la especificación técnica de la Norma ASTM C 618– 78, excepto el contenido de álcalis de la muestra A pero esta se considera opcional.
- En el cuadro Nro.9, la Norma ASTM C 311– 87, fija 75% mínimo de resistencia a compresión respecto al cemento patrón. Ambas muestras satisfacen dicha Norma, pero es de observar que la muestra B supera al valor obtenido con la puzolana de Ybytymi.
- En el cuadro Nro. 10 la Resistencia a Compresión: a 3 días la muestra B se aproxima a la de Ybytymi, a 7 dias puede notarse el incremento de resistencia de A y B que supera a la de Ybytymi, pero nuevamente a la edad de 28 días son prácticamente iguales. Responde satisfactoriamente a la NP.70

4 DISCUSIÓN

Las Muestras A (pozo 1 al 6) y B (pozo de 7 al 12) cumplen con las especificaciones técnicas establecida en las Normas para material de adicción al clinker en la fabricación del cemento puzolanico. Puede notarse a simple vista la gran diferencia de textura entre las misma, la A es arcillosa y B mas arenosa. En cuanto a calidad de puzolana, la B presenta mayor puzolanidad y se asemeja a la puzolana de la zona de Ybytymi.

El material puzolanico es de origen volcánico.

5 CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

El yacimiento de la puzolana que se encuentra localizada en la zona de Caañabe Departamento de Paraguarí al Norte de la ciudad de Carapeguá.

Donde el uso de la puzolana es de gran importancia evitando que se lleven a cabo las reacciones entre los sulfatos y los componentes químicos del cemento.

Al finalizar con el desarrollo del presente trabajo se concluye que con el uso de las puzolanas es posible proteger al concreto del ataque del sulfatos y reacciones químicas; debido que la puzolana por su composición mineralógica y estructura porosa, forma una capa de protección en la superficie, es decir actúa como elemento anticorrosivo haciendo más resistente las estructuras que se encuentran susceptibles al medio ambiente agresivo, reacciones alcalinas y temperaturas extremas.

En general se puede concluir que es especialmente recomendable el uso de las puzolanas, en construcciones de concreto que están expuestas al ambiente agresivo como son las estructuras marítima o costeras, aplicaciones de agricultura, conducto de drenaje, plantas de tratamientos, presas, ambientes industriales y estructuras expuestas al cloro, como los puentes o estacionamientos así como también en zonas donde predominan rocas y minerales que son alcalinos. También es recomendable en obras que se encuentran en regiones de temperaturas extrema y ambiente demasiado húmedo.

En hormigones de resistencias normales, las puzolanas son añadidas para reducir los costos y mejorar los valores de resistencia y durabilidad de la masa endurecida. En tales casos, las puzolanas ayudan a mejorar la compacidad de los sólidos, pero el rol primario es proveer silicato cálcico hidratado adicional por medio de la reacción con el agua y con el hidróxido cálcico proveniente de la reacción del cemento Portland. Esta reacción puzolánica es pequeña para la mayoría de las puzolanas utilizadas en altas proporciones, así, los beneficios son observados en el plazo de una semana a varias semanas después de mezcladas.

Algunas de estas puzolanas altamente reactivas (tales como la Silice fume) son añadidas en pequeñas proporciones y ayudan a mejorar los valores de resistencias a edades tempranas así como también la durabilidad a mayores edades

BIBLIOGRAFIA

Cornelius, S. H. Jr. 1981. Manual de Mineralogía de Dana. Segunda edición. REVERTÉ, S.A.

Desarrollo de hormigones con aglomerante cal-puzolana fina como material cementicio, en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732008000300005&script=sci_arttext

Enrique Quintana Crespo (2000) TESIS DOCTORAL RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS Y LOS COMPONENTES PUZOLÁNICOS DE LOS SEDIMENTOS PAMPEANOS (Argentina).

González, M.E; Bartel, W; 1998. Mapa Geológico de la Republica de Paraguay 1:100000, Hoja Paraguarí 5469, Texto Explicativo; Asunción (MOPC & BGR) 42 pág + 1 mapa.

López, O.; González, E.; De Llamas, P.; Molinas, A.; Franco, E.; García, S.; & Ríos, E. 1995. Mapa de reconocimiento de suelos de la región Oriental. Proyecto de racionalización del uso de la tierra – Gobierno del Paraguay/Banco Mundial/Gobierno de Japón/DMA – Servicio Geodésico Interamericano. 1 mapa. Asunción.

Velho, J.; Gomes, C; Romariz 1998. Minerais industriais. Geología, propiedades, tratamentos, aplicações, especificações, produções e mercados. G.C. Gráfica de Combra. Lta. 591.

www.puzolana.com.ar/principales_usos_y_aplicaciones.htm

Delio Orue 1995. Identificación Microscópica de Análisis petrográfico de los Minerales.

Norma Paraguaya NP 1704480 Especificaciones.

Norma IRAM 1654: Puzolanas. Norma ASTM C.379-56-
Norma Iram 1654 - 1968. Puzolanas. Método de ensayo generales. Índice de Actividad Puzolánica con cemento portland.