

T
549.1145
V855.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO



D-8700

"INVESTIGACION DE PUZOLANAS NATURALES EN LA PENINSULA DE
SANTA ELENA Y EN EL SUR DE MANABI"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE :

INGENIERO GEOTECNICO

PRESENTADA POR :

JORGE ANTONIO VIVANCO AMORES

GUAYAQUIL-ECUADOR
1988

AGRADECIMIENTO

A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

A "LA CEMENTO NACIONAL C.A."

DEDICATORIA

A MI ESPOSA E HIJO

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

.....
Ing. Jorge Rengel Espinoza
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA,
MINAS Y PETROLEO

.....
Ing. Jorge Rengel Espinoza
DIRECTOR DE TESIS

.....
Ing. Raúl Maruri Díaz
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....
Ing. Julián Coronel Ramírez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

.....
JORGE ANTONIO VIVANCO AMORES

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el encontrar un material natural que pueda usarse como aditivo mineral en el cemento portland (Puzolana) para mejorar la resistencia a los medios agresivos.

Químicamente se determinó los contenidos de óxidos de las muestras así como también de las mezclas con el cemento portland. El estudio mineralógico se realizó en base a los resultados de las pruebas químicas y con la ayuda de las normas de NYGGLI.

Desde el punto de vista físico se determinó las características físicas, y el desarrollo de la resistencia a la compresión de los diferentes morteros en agua potable y en aguas corrosivas.

La muestra de Montecristi cumplió con todos los requerimientos que establece el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), por lo tanto se puede utilizar como aditivo mineral en el cemento portland, en tanto que la muestra de Colonche puede tener otra utilización especialmente como material abrasivo o haciéndole un tratamiento térmico también se puede utilizar como aditivo mineral en el cemento.

INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XII
INTRODUCCION	14
I. PUZOLANAS	15
1.1 Introducción	15
1.2 Definición	15
1.3 Origen	16
1.4 Clasificación	17
1.4.1 Puzolanas naturales	18
1.4.2 Puzolanas artificiales	19
1.5 Características físicas y químicas de las puzolanas	20
1.6 Reacción de la cal con la puzolana	22
1.7 Métodos de valoración de las puzolanas	24
1.7.1 Método de la cal	25
1.7.2 Método del cemento	26
1.7.3 Método del índice hidráulico	29
II. CEMENTO PUZOLANICO	30
2.1 Definición	30
2.2 Reseña histórica	30
2.3 Componentes básicos del cemento puzolá- nico	33

	<u>Pág.</u>
2.4 Clasificación del cemento puzolánico	34
2.5 Características físicas y químicas del cemento puzolánico	34
2.6 El cemento puzolánico frente a los me- dios corrosivos	39
2.7 Aplicación del cemento puzolánico . . .	44
III. YACIMIENTOS DE POTENCIALES PUZOLANAS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO	45
3.1 Criterios geológicos y litológicos de prospección	45
3.2 Localización y descripción de los yaci- mientos	49
3.3 Muestreo : Criterios aplicados . . .	50
3.4 Estudio petrográfico	51
IV. PARTE EXPERIMENTAL	58
4.1 Consideraciones generales	58
4.2 Actividad puzolánica	67
4.2.1 Método de la cal	67
4.2.2 Método del cemento portland . . .	76
4.2.3 Método del índice hidráulico . . .	79
4.3 Características físicas del cemento pu- zolánico	81
4.3.1 Resistencia a la compresión de cemento portland con puzolana . . .	83
4.4 Resistencia a la compresión del cemento portland con puzolana en medios corrosi <u>u</u>	

	<u>Pág.</u>
vos	88
4.5 Tabulación de datos y gráficos	92
V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
ANEXOS	120
BIBLIOGRAFIA	125

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1	INDICE DE ACTIVIDAD METODO DE LA CAL	102
2	INDICE DE ACTIVIDAD METODO DEL CEMENTO	103
3	INDICE DE ACTIVIDAD METODO DEL INDICE HIDRAU LICO	104
4	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MUESTRA DE CO- LONCHE)	105
5	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (MUESTRA DE COLONCHE)	106
6	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MUESTRA DE MON TECRISTI)	107
7	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (MUESTRA DE MONTECRISTI)	108
8	RESISTENCIA A LA COMPRESION (PRUEBAS ADICIO NALES, MUESTRA DE COLONCHE)	109
9	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE COLONCHE)	110
10	RESISTENCIA A LA COMPRESION (PRUEBAS ADICIO NALES, MUESTRA DE MONTECRISTI)	111
11	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE MONTECRISTI)	112
12	RESISTENCIA A LA COMPRESION FRENTE A MEDIOS CORROSIVOS	113

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
13	PORCENTAJE DE DISMINUCION DE LA RESISTENCIA FRENTE A MEDIOS CORROSIVOS	114

INDICE DE TABLAS

BIBLIOTECA

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
I	CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS MUESTRAS .	62
II	CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS MUESTRAS .	63
III	COMPOSICION QUIMICA DE LAS MEZCLAS DE CEMENTO CON PUZOLANA (MUESTRA DE MONTECRISTI) .	65
IV	COMPOSICION QUIMICA DE LAS MEZCLAS DE CEMENTO CON PUZOLANA (MUESTRA DE COLONCHE) . .	66
V	INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DE LA CAL) . .	75
VI	INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DEL CEMENTO) .	79
VII	INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DEL INDICE HIDRAULICO)	80
VIII	CARACTERISTICAS FISICAS DEL CEMENTO PUZOLANICO	82
IX	RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO (MUESTRA DE COLONCHE). . .	86
X	RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO (MUESTRA DE MONTECRISTI) . . .	87
XI	RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO (PRUEBAS ADICIONALES)	89
XII	RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO (PRUEBAS ADICIONALES)	90
XIII	RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO EN MEDIOS CORROSIVOS	91
XIV	INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DE LA CAL) .	92

XIII

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
XV	INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DEL CEMENTO) .	93
XVI	INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DEL INDICE HI- DRAULICO)	93
XVII	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MUESTRA DE CO- LONCHE)	94
XVIII	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (MUESTRA DE COLONCHE)	94
XIX	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MUESTRA DE MON- TECRISTI)	95
XX	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (MUESTRA DE MONTECRISTI)	95
XXI	RESISTENCIA A LA COMPRESION (PRUEBAS ADICIO- NALES, MUESTRA DE COLONCHE)	96
XXII	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE CO- LONCHE)	96
XXIII	RESISTENCIA A LA COMPRESION (PRUEBAS ADICIO- NALES, MUESTRA DE MONTECRISTI)	97
XXIV	PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE MONTECRISTI)	97
XXV	RESISTENCIA A LA COMPRESION FRENTE A MEDIOS CORROSIVOS	98
XXVI	PORCENTAJE DE DISMINUCION DE RESISTENCIA FRENTE A MEDIOS CORROSIVOS	98

INTRODUCCION

Una roca de origen volcánico poco consolidada quizás fue el material más antiguo utilizado como aditivo mineral a los cementos hidráulicos por los romanos, a la cual se la llamó puzolana, este término se le aplicó exclusivamente a este material, pero luego también se incluyó a las tierras de diatomeas y a otras rocas con alto contenido de sílice.

Este material se ha utilizado ampliamente en Europa, por el contrario en los Estados Unidos no ha tenido mucha aceptación. La utilización de este material se debe principalmente a que los hormigones fabricados con ellos adquieren una gran resistencia a los medios corrosivos como las aguas marinas y terrestres muy puras o ricas en sulfatos u otros constituyentes agresivos.

Dada su facilidad de aplicación directa a la molienda conjunta con el clinker y yeso como aditivo mineral, por la disponibilidad que se encuentra en la naturaleza, y por el ahorro económico que representa, hoy en día se trata de utilizar en el Ecuador en la fabricación de cemento puzolánico.

CAPITULO I

PUZOLANAS

1.1 INTRODUCCION

La presente investigación consiste en encontrar un aditivo mineral que permita variar dirigidamente las propiedades del aglomerante, ahorrar clinker, disminuir el gasto del cemento en el hormigón, dándole mayor resistencia a los medios agresivos.

Para esto se buscó el aditivo en lugares no muy lejanos a la industria del cemento en la Guayaquil, es así que se escogió la zona de la Península y el sur de la provincia de Manabí; la búsqueda del aditivo mineral o puzolana se hizo siguiendo o basándonos en la "GUIA GEOLOGICA DEL SUR-OESTE DE LA COSTA ECUATORIANA".

1.2 DEFINICION

Llámase PUZOLANAS o aditivos minerales activos a las sustancias, naturales o artificiales, que al mezclarlas en forma finamente desmenuzada con la cal aérea y amasarlas con agua forma una pasta capaz de seguir endureciendo aún bajo el agua, después de

endurecer en el aire.

Los aditivos minerales activos (llamados de otra manera aditivos hidráulicos) contienen el bióxido de silicio en estado amorfo y, por consiguiente, químicamente activo, por lo que son capaces de reaccionar con el hidróxido de calcio formando los hidrosilicatos de calcio.

1.3 ORIGEN

El conglomerante propiamente dicho, en todos los hormigones y morteros de los romanos para las obras hidráulicas era un mortero de cal con adición de "TIERRA PUZOLANICA", aquel "polvo que por naturaleza, realiza cosas asombrosas", como se expresaba P. VITRUVIO en el año 13 antes de Cristo, y también hace firmes las presas bajo el agua del mar.

Las puzolanas en la antigüedad eran, ante todo, las cenizas volcánicas de la Isla de Santorín, del grupo de las Cicladas, y las de Pozzuoli en el viejo puerto de Nápoles, del que deriva su nombre.

En la tierra Alemana los romanos utilizaron, como puzolana, el polvo de ladrillo y quizás también el

trass. Este forma el grupo de las cenizas volcánicas y que en el caso del trass del Rhin, en la cuenca de Neuwied, es lava del volcán del Lago Laach (EIFEL); el trass de Baviera probablemente es el producto resultante de un meteorito proyectado en la falla de Nordlingen. La palabra "trass" se deriva de terras = tierra, vocablo que también hay que referir a terrazo.

En la actualidad se puede decir que la mayor parte de las puzolanas se encuentran en sitios donde existió gran actividad volcánica; así como también, pero en menor proporción, se encuentra puzolanas en materiales sedimentarios de origen vegetal o animal y en los desechos industriales.

1.4 CLASIFICACION

Las puzolanas se pueden clasificar en:

- 1) Cenizas y tobas volcánicas; riolitas, andesitas y fonolitas.
- 2) Rocas silíceas sedimentarias como la diatomea, pizarra y pedernal.

3) Arcillas y pizarras calcinadas (arcilla caolinizada).

4) Subproductos industriales (escorias y cenizas).

Una clasificación más general y exacta se la da en base al origen de la puzolana, es decir que dependiendo si el aditivo mineral necesitó de algún proceso para su activación o no (por lo general aplicando temperaturas altas), se lo clasifica en puzolanas naturales o artificiales.

1.4.1 PUZOLANAS NATURALES

Las puzolanas naturales son los materiales que no necesitan de algún proceso artificial para su activación, así en calidad de aditivos minerales activos naturales se utilizan ampliamente tales rocas como la diatomita, el trípoli, al igual que las rocas de origen volcánico como la toba, piedra pómez, vitrófido, trass, ceniza volcánica, etc.

Existe dentro de las puzolanas naturales una clasificación de acuerdo al contenido de sílice, así tenemos:

BASICAS → 40 - 55% DE SILICE

NEUTRAS → 55 - 65% DE SILICE

ACIDAS → 65 - 70% DE SILICE

BIBLIOTECA

Son más activas las puzolanas naturales ácidas y neutras que son rocas de color claro y de peso ligero.

Las básicas son de color obscuro y pesadas; la actividad de las puzolanas naturales depende principalmente del contenido de silice y alúmina.

1.4.2 PUZOLANAS ARTIFICIALES

Las puzolanas artificiales son materiales que necesitan para su activación procesos artificiales tales como la aplicación de altas temperaturas. Los minerales activos artificiales no son sino productos derivados y desechos de la industria, a saber: lodos de belita (nefelínicos), o sea, desechos de la fabricación de alúmina que contienen hasta el 80% del mineral belita (silicato bicálsico), ceniza que se arrastra por el humo al quemar combustibles sólidos en estado pulverizado y

se capta por filtros eléctricos y otros dispositivos.

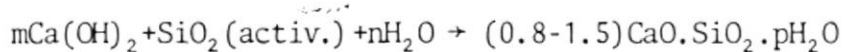
1.5 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

El aditivo mineral activo liga químicamente el hidróxido de calcio que es soluble en el agua y se desprende durante el endurecimiento del cemento portland, por esta razón aumenta la densidad de la piedra de cemento y crece su resistencia a la corrosión. Por eso los aditivos minerales activos se emplean para aumentar en los hormigones y morteros la densidad, la resistencia al agua y a las sales. Algunos de ellos se utilizan para fabricar hormigones y morteros termorresistentes a base del cemento portland.

El cemento portland mineral contiene dichos aditivos activos en cantidad de 10-20% (de la masa del cemento), tiene las mismas marcas que el cemento portland normal y es próximo a éste por las demás propiedades.

El cemento portland puzolánico se fabrica moliendo conjuntamente el clinker y el aditivo mineral activo con la cantidad necesaria de yeso. Los aditivos minerales de origen sedimentario (diatomitas, tripo

lis, margas) deben estar presentes en cantidades no menor del 20% y no mayor del 30%, mientras que los aditivos volcánicos (pómez, toba), así como la arcilla quemada y la ceniza de combustible, no menor del 25% y no mayor del 40%. El aditivo mineral activo, primeramente absorbe y luego liga químicamente el hidróxido de calcio que se forma durante la reacción de la halita con el agua:



Como resultado de este proceso, que transcurre en condiciones húmedas y a temperatura positiva, el hidróxido de calcio soluble se liga, proporcionando hidrosilicato cálcico prácticamente insoluble, a consecuencia de esto aumenta considerablemente la estabilidad del hormigón en cuanto a lixiviación de Ca(OH)_2 . El cemento portland puzolánico deberá utilizarse para hormigones que se hallan constantemente en condiciones húmedas (partes submarinas y subterráneas de las obras). El hormigón a base del cemento portland puzolánico expuesto al aire ofrece mayor contracción y en condiciones secas pierde parcialmente la resistencia mecánica. Lo que se explica por la "meteorización" del agua de los compuestos hidratados. El cemento portland puzolánico endurece en condiciones normales con mayor lentitud

que el cemento portland.

A manera de ejemplo vamos a mostrar los valores en que varía la composición química de algunas puzolanas analizadas en Europa.

ELEMENTOS	MAX.	MIN.
SiO ₂	65,00%	24,50%
Al ₂ O ₃ + TiO ₂	22,00%	13,00%
Fe ₂ O ₃	16,30%	3,00%
CaO	8,96%	2,00%
MgO	3,00%	0,50%
P. F.	16,00%	4,00%

P. F. = Pérdida al fuego.

1.6 REACCION DE LA CAL CON LAS PUZOLANAS

La obtención de aglomerantes calcáreos con escorias se funda en la capacidad de las escorias de alto horno granuladas y finamente molidas de endurecer al agregarles cal. Generalmente, la escoria se muele junto a la cal aérea, cuyo contenido en el aglomerante constituye un 20 - 30%. Durante la molien- da se agrega hasta un 3 - 5% de yeso para retardar

el proceso de fraguado. La cal, reaccionando con los silicatos y aluminatos de la escoria de baja basicidad, favorece a la formación de hidroaluminatos e hidrosilicatos de calcio de alta basicidad. El yeso agregado reacciona en la solución acuosa con los aluminatos de calcio formando hidrosulfoaluminato de calcio, como resultado de ambos procesos crece la resistencia mecánica del aglomerante.

Los aglomerantes calcáreos con escorias empiezan a fraguar y endurecer lentamente, pero al someterlos al tratamiento por calor y humedad se logra acelerar el fraguado. Son estables en el agua dulce, pero tienen baja resistencia al frío. Los aglomerantes calcáreos con escorias se utilizan en hormigones de marcas no elevadas y en morteros para construcción.

Los aglomerantes calcáreo-puzolánico se fabrican mediante la molienda conjunta del trípolis, diatomitas, y de otros aditivos minerales activos con la cal. Durante el fraguado en condiciones húmedas o en el agua se forman hidrosilicatos de calcio de baja basicidad. Al aire, en condiciones secas, los hidrosilicatos son capaces de deshidratarse, reduciendo considerablemente la resistencia mecánica

de la pieza. La resistencia de esos aglomerantes no es alta y por eso se utilizan para los mismos fines que los aglomerantes calcáreos con escorias.

1.7 METODOS DE VALORACION DE LAS PUZOLANAS

Para valorar las puzolanas existen dos métodos, los cuales consisten en determinar el "INDICE DE ACTIVIDAD DE LAS PUZOLANAS" en contacto con el cal y el cemento portland.

Indice de actividad puzolánica es el valor que expresa la capacidad de la puzolana para reaccionar con el hidróxido de calcio formando compuestos cementicios.

El índice de actividad puzolánica se determina calculando la resistencia a la compresión de un mortero de cemento, al cual se añade una proporción determinada de puzolana.

Los métodos para determinar el índice de actividad de las puzolanas son:

- Método de la cal
- Método del cemento
- Método del índice hidráulico

Estos métodos están basados en las normas que emite el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN).

1.7.1 METODO DE LA CAL

Este método se basa en la preparación de un mortero de cal hidratada, puzolana, arena y agua, con el cual se confeccionan varias probetas que se someten a ensayos de resistencia a la compresión.

El mortero de ensayo debe estar constituido por:

- una parte de cal hidratada.
- nueve partes de arena.
- una cantidad de puzolana igual al doble de la masa de cal, multiplicada por un factor que se obtiene dividiendo la densidad de la puzolana para la densidad de la cal.

La cantidad de agua que deberá ser agregada al mortero de ensayo se la determina mediante el ensayo de la consistencia normal de dicho mortero (determinación del flujo).

Con los valores individuales obtenidos para cada una de las tres probetas de 7 días de edad, se calcula el promedio de la resistencia a la compresión de la sección transversal en Mega-Pascal (MPa) se debe asumir que $1\text{MPa} = 10 \text{ kgf/cm}^2$.

Para que la puzolana se considere activa deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Edad de las probetas a ensayar siete días.
- b) Resistencia promedio mínima requerida 4MPa.

1.7.2 METODO DEL CEMENTO

Este método se basa en la preparación de un mortero compuesto de: cemento portland, puzolana, arena y agua, con el cual se confeccionan varias probetas que se someten a ensayos de resistencia a la compresión, el índice de actividad de la puzolana ensayada se determina por comparación entre la resistencia de las probetas preparadas con cemento portland, arena, puzolana y agua, con la resistencia de las probetas elaboradas con un mortero "patrón" de cemento portland, arena y agua.

MORTERO PATRON :

El mortero patrón debe estar constituido por:

- 500 gramos de cemento portland
- 1500 gramos de arena
- 250 c.c. de agua

MORTERO DE ENSAYO :

El mortero de ensayo debe estar constituido por:

- 325 gramos de cemento portland
- 1500 gramos de arena
- 250 c.c. de agua
- y una cantidad "P" de puzolana que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$P = 175 (d/d_1)$$

donde:

P = cantidad de puzolana en (gr)

d = densidad de la puzolana en (gr/cc)

d₁ = densidad del cemento portland (gr/cc)

Los valores individuales obtenidos en los ensayos, para cada una de las muestras, a los 28 días de edad, se calcula el valor prome-

dio de la resistencia a la compresión en MPa, asumiendo $1\text{MPa} = 1\text{Kg/cm}^2$.

El índice de actividad puzolánica se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$I_p = (R/R_1) 100$$

donde:

I_p = Índice de actividad puzolánica en (%).

R = Promedio de resistencia a la compresión de las muestras del mortero de ensayo en (MPa).

R_1 = Promedio de resistencia a la compresión de las muestras del mortero patrón en (MPa).

Para que la puzolana se considere activa debe cumplir con los siguientes requisitos:

- 1) Edad de las probetas a ensayar 28 días.
- 2) El promedio de la resistencia de la probeta de ensayo deberá ser de por lo menos el 75% del promedio de la resistencia de la probeta patrón.

1.7.3 METODO DEL INDICE HIDRAULICO

También se pueden valorar las puzolanas obteniéndose el índice hidráulico; este método consiste en preparar tres clases de cubos, uno con cemento y puzolana, otro con cemento y arena molida y otro con cemento solo; estos morteros se los prepara de la siguiente manera:

Cp = CEMENTO + 30% DE MATERIAL PUZOLANICO

Ca = CEMENTO + 30% DE ARENA MOLIDA

Cc = CEMENTO SOLO

Luego se los almacena en la cámara húmeda durante 28 días, para después someterlos a ensayo de compresión y con los resultados aplicamos la siguiente fórmula:

$$I_h = \{(C_p - C_a) / (C_c - C_a)\} * 100$$

El índice hidráulico viene dado en porcentaje, y se considera que el material puzolánico es activo cuando da como resultado un porcentaje superior al 70%.

CAPITULO II

CEMENTO PUZOLANICO

2.1 DEFINICION

Con el nombre de cemento puzolánico se denomina a un aglomerante hidráulico que se obtiene mediante la molienda conjunta del clinker portland con un aditivo mineral activo natural o artificial y yeso, o la mezcla íntima de estos materiales molidos aparte, que se endurecen con el agua o en un ambiente húmedo.

2.2 RESEÑA HISTORICA

Desde la época de los romanos se ha venido utilizando morteros de puzolana con cal como una forma de cemento o roca compacta atribuyéndoles buenos resultados, tanto así, que existen hasta la actualidad obras marítimas de esa época.

El cemento (caementurn = argamasa y caedere = precipitar), se aplicaba a los morteros con cualquier aglomerante. En 1756 Smeaton estaba encargado de reconstruir un faro y se dedicó a investigar las cau-

sas del endurecimiento de los morteros de cal y puzolana y se dio cuenta que lo importante era la presencia de la caliza arcillosa. En 1976 Parker ratificó porque encontró que calcinando la caliza arcillosa, luego de molerla, se conseguía un cemento hidráulico duro.

Vicat fabricó cemento usando caliza arcillosa y en 1824 Aspdin patentó el cemento portland, debido a que el cemento obtenido, en base a calizas arcillosas, resultaba una argamasa resistente cuyo color era muy parecido a las rocas de la localidad de portland (pueblo de Inglaterra); y lo fabricaba usando una mezcla de caliza y arcilla que la cocinaba en los mismos hornos de cal a altas temperaturas, cerca de la fusión y, molida daba un cemento de fragado lento y no muy resistente. Este Aspdin descubrió una relación directa entre la temperatura de cocción y la resistencia final del cemento; Johnson más tarde en base a los anteriores descubrimientos eleva cada vez más la temperatura hasta conseguir prácticamente el cemento portland que hasta ahora se utiliza.

El cemento portland es un aglomerante que se consigue al calcinar una mezcla en proporciones constan-

tes, más o menos en relación de 2:1 entre la caliza y la arcilla, a temperaturas próximas a la fusión, luego pulverizadas finalmente y agregándole en este último proceso un 3%, aproximadamente, de yeso para retardar el fraguado.

El cemento portland vino a satisfacer una gran necesidad de aglomerantes hidráulicos, pero se determinó que este cemento no presentaba en hormigones construídos bajo el agua de mar o cualquier otro agente destructivo, corroiéndose hasta su destrucción o presentando filtraciones considerables como en el caso de represas debido a su poca compactación.

Estas deficiencias en sí del cemento portland, hicieron que se lleve a cabo investigaciones para mejorarlo frente a esos medios agresivos, o encontrar otro tipo adecuado de cemento.

Tanto Sersale, como Tavasci, llevaron a cabo estudios sobre la incidencia de las puzolanas Italianas sobre el cemento portland, ya sea como adiciones en bajos porcentajes, o en altos porcentajes, llegando a determinar que la puzolana es un aditivo mineral activo que presenta características tales, que dan al cemento buenas resistencias a las aguas corrosivas.

Desde entonces, algunos países están utilizando las puzolanas como un aditivo mineral en el cemento portland, tal es que Rusia, en el año 1868, después de dos años de investigación empleó el cemento puzolánico para construcciones hidrotécnicas, obteniéndose resultados satisfactorios.

2.3 COMPONENTES BASICOS DEL CEMENTO PUZOLANICO.

Los componentes básicos en la fabricación del cemento puzolánico son:

CLINKER PORTLAND.- Producto intermedio de la fabricación de cemento portland, se lo obtiene al ser quemada hasta fusión parcial de una mezcla perfectamente homogenizada de caliza, arcilla y otros materiales.

PUZOLANA.- Aditivo mineral activo, natural o artificial, con un contenido de sílice y alúmina, idóneo para la obtención del cemento puzolánico.

YESO.- Material regulador del tiempo de fraguado, su dosificación es de 2 al 5% en peso del cemento.

2.4 CLASIFICACION DEL CEMENTO PUZOLANICO

BIB: . . . A

El cemento puzolánico se clasifica de la siguiente manera:

TIPO IP.- Cemento puzolánico para uso en la construcción del hormigón en general.

TIPO IP-A.- Cemento puzolánico con incorporador de aire para uso de la construcción de hormigón en general.

TIPO P.- Cemento puzolánico para uso en construcción de hormigón en el cual no se requieren altas resistencias a edad temprana.

TIPO PA.- Cemento puzolánico con incorporador de aire para uso en construcción de hormigón, en la cual no se requieren altas resistencias a edad temprana.

2.5 CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL CEMENTO PUZOLANICO.

FINURA.- Cuando el cemento puzolánico es finamente molido, adquiere mejores propiedades en el amasado

do y fraguado, además que presenta una mayor área específica de sus partículas, que será esencial cuando empieza la etapa de hidratación. El cemento puzolánico debe pasar por un tamiz malla 4900 orif./cm² quedando un residuo mayor al 10%.

CONSISTENCIA NORMAL.- La consistencia normal nos permite conocer exactamente el volumen de agua necesaria para que el cemento brinde un tiempo de fraguado normal. Se la representa por la siguiente relación:

$$CN = \text{volumen de agua/masa del cemento}$$

La relación agua/cemento, es mayor para el cemento puzolánico que para el cemento portland.

FRAGUADO.- El cemento puzolánico, a diferencia que el cemento portland, alcanza su tiempo final de fraguado más lento, debido a que primero ocurre las reacciones del clinker, para luego empezar a reaccionar los elementos de la puzolana con el Ca(OH)_2 liberado.

EXPANSION.- Una de las características del cemento puzolánico, es tener una ligera expansión cuando se hidrata, debido a la existencia en baja concentra-

ción de cal libre, causante de la hinchazón del cemento cuando se halla disuelta en grandes concentraciones.

RESISTENCIA.- La resistencia a la compresión nos da una idea clara de la calidad del cemento. En el proceso de endurecimiento de una mezcla de monominerales, los especimen de C_3S alcanzan mejores resistencias a edades tempranas, y los C_2S las menores resistencias, pero a edades mayores a los seis meses su resistencia es alta.

Un especimen hecho de C_3A , tiene resistencia baja a edades posteriores.

La resistencia de los cementos no se sujetan a una ley aditiva, por cuanto la formación de la estructura física de la piedra del cemento, tomando en cuenta la composición mineralógica del mismo, está influenciada por otros factores.

Los requisitos físicos que debe cumplir un cemento puzolánico son los siguientes:

AREA ESPECIFICA	(cm^2/gr)	MINIMO 2.800
EXPANSION	(%)	MAXIMO 0,7

FRAGUADO	(horas)	INICIAL 0,7	FINAL 9
RESIS. COMP.	(Kg/cm ²)	7 días 150	28 días 270

CARACTERISTICAS QUIMICAS :

Composición Química

SiO ₂	-----	Sílice
Al ₂ O ₃	-----	Alúmina
Fe ₂ O ₃	-----	Oxido Férrico
CaO	-----	Oxido de Calcio
MgO	-----	Oxido de Magnesio
SO ₃	-----	Anhidrido Sulfúrico
Na ₂ O	-----	Oxido de Sodio
K ₂ O	-----	Oxido de Potasio

Cuando un cemento puzolánico reacciona con el agua, ocurren dos reacciones completamente diferentes: hidratación de los compuestos del clinker y combinación de los óxidos reactivos de la puzolana con la cal liberada del cemento.

La reacción entre el Ca(OH)₂ y las partículas de puzolana es esencialmente una reacción de superficie. Es probable que las partes más externas de las partículas formen una tobermorita más básica que las

internas.

Según Michaelis (1893), desde el principio del amasado, ocurren reacciones en el cemento, produciéndose un fenómeno de disolución, lo que da lugar a un aumento de volumen de las partículas y la aparición de una solución de cal muy concentrada, actuando esta última sobre los silicatos, para formar un gel de sílice y cal que aumenta poco a poco de volumen, absorbiendo agua y cal.

La presencia de puzolana, acelera la hidratación y la hidrólisis de la parte del clinker y la disminución constante de la concentración de Ca(OH)_2 en la fase líquida del sistema reaccionante y como resultado el hidrosilicato dicálcico se transformará en monocálcico ($\text{CaO.SiO}_2.\text{H}_2\text{O}$), y los hidroaluminatos básicos a menos básicos.

Es posible la reacción entre los hidroaluminatos y el SiO_2 activo, con la aparición de los hidrogenatos, tipo $3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3.x\text{SiO}_2(6-2x\text{H}_2\text{O})$, que aparecen mucho más rápido con el endurecimiento en autoclave. Los cementos puzolánicos son significativamente más resistentes a la acción del agua de mar y aguas mineralizadas, por cuanto durante el proceso de endurecimiento, reacciona más el Ca(OH)_2 y se obtiene

los hidrosilicatos y aluminatos de calcio menos básicos en comparación con el proceso de endurecimiento del cemento portland.

Como resultado de la reacción con el agua y con el Ca(OH)_2 que se ha originado en el proceso de endurecimiento del cemento portland, algunas partículas de la puzolana pulverizada se expanden, dando como resultado la mayor densidad del mortero y hormigón.

El aumento de densidad mejora la resistencia al agua y a las sales, del cemento puzolánico, como resultado de la mayor dificultad que tienen las aguas agresivas para penetrar dentro del hormigón, lo que impide su destrucción.

2.6 EL CEMENTO PUZOLANICO FRENTE A LOS MEDIOS CORROSIVOS.

La forma de agresión química más frecuente que se encuentra, es la alcalinización del cemento, la acción de los sulfatos del agua de mar y aguas naturales ligeramente ácidas.

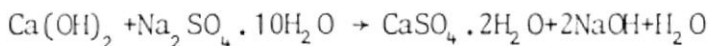
Según la clasificación del profesor B. M. Masklin, los procesos corrosivos naturales se dividen en:

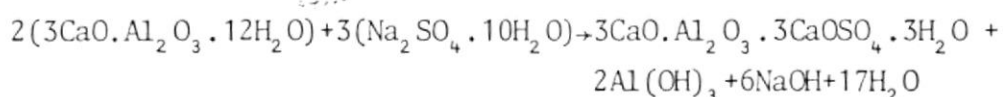
Forma de corrosión, en la cual la interacción química de los componentes agresivos del medio externo con la piedra de cemento es tal, que debilita su estructura.

Forma de corrosión, por la cual la destrucción del hormigón se debe a las fuerzas internas, producidas por la formación de los productos de la corrosión.

La piedra cemento, es el componente más activo químicamente, por lo tanto, el más inestable componente del hormigón, sujeto a destrucción por la acción de los medios agresivos externos. Como anotó A. Neville, la resistencia del hormigón depende del tipo de hormigón utilizado, sin embargo en muchos casos la densidad y la facilidad de penetración de líquido de la piedra de cemento, influyen en alto grado en su durabilidad.

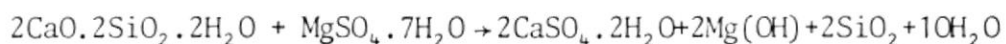
Gran importancia tiene la estructura de la piedra de cemento, cuando ésta trabaja en medios corrosivos sulfatados. Los sulfatos disueltos en el agua, intervienen en las reacciones con el Ca(OH)_2 y con el hidroxaluminato de calcio, dando la siguiente reacción:





Los productos obtenidos en las reacciones, tanto del yeso, como del sulfoaluminato de calcio, tienen volúmenes mucho mayores que los componentes reaccionantes iniciales, por lo que se producen las expansiones y destrucción del hormigón, debido a la interacción de los sulfatos.

El sulfato de magnesio también reacciona con el hidrosilicato de calcio:



Por cuanto el hidróxido de magnesio es muy poco soluble, la reacción va hasta el final, siendo su interacción muy peligrosa.

La destrucción del hormigón por acción de estos medios agresivos, generalmente comienza en los ángulos de las caras, luego se observa desgaste y desprendimiento de escamas, debilitándose de esta forma su estructura.

Luego, el motivo principal del empleo de la puzolana en el cemento, es que, los hormigones fabricados

con ella, tienen una gran resistencia al ataque de las aguas marinas o de las aguas terrestres muy puras, o ricas en sulfatos u otros constituyentes agresivos. Su acción beneficiosa reside, en su combinación con el Ca(OH)_2 con formación de compuestos insolubles e inertes, alguno de los cuales son aglomerantes, añadiendo por lo tanto, a las cualidades normales del cemento, mejoras de resistencias y durabilidad.

Bogue y Lerch, han realizado estudios sobre la resistencia de morteros de cemento puzolánico en soluciones de Na_2SO_4 y MgSO_4 , llegando a concluir que cuando el contenido potencia de C_3A era elevado (11 a 16%), las probetas se desintegraron con rapidez, independientemente de las adiciones de sílice activo.

Cuando este contenido era pequeño (2 al 3%), las probetas se conservaban satisfactoriamente.

En cambio, en los cementos de contenido medio de C_3A , la intensidad del ataque en las soluciones de sulfato disminuyó al añadir cantidades determinadas de sílice activa. Es probable que con probetas grandes cuya velocidad de desintegración es menor, se consigan también ventajas con la sílice incluso

cuando estén fabricadas con cementos que contengan grandes cantidades de C_3A .

La explicación dada en principio por Bogue y Lerch, en relación a esta acción, está basada en la reducción de la concentración de $Ca(OH)_2$ como resultado de la acción mutua de la sílice activa con la cal de la pasta de cemento. Puesto que el sulfoaluminato cálcico actúa más rápidamente en soluciones concentradas de $Ca(OH)_2$, y puesto que la desintegración de los cementos en las soluciones de sulfato es debido principalmente a la formación del sulfoaluminato, se retrasará también la desintegración de la estructura.

Según Lafuma, la expansión tiene lugar cuando un componente insoluble del cemento fraguado reacciona con alguna sustancia en solución, mientras que, por el contrario, no se produce ninguna expansión si el compuesto del cemento pasa primero a la solución y precipita después en un nuevo compuesto insoluble. En el primer caso, los cristales formados alrededor del compuesto insoluble ejercen un empuje disgregante, pero en el segundo, los nuevos compuestos van acomodándose en los huecos y no se produce ninguna presión. Por lo tanto, la reacción de la puzolana con la cal, produce una disminución en la concentración de $Ca(OH)_2$ y crea las condiciones propias para que el sulfoalu-

minato pueda formarse en los huecos.

2.7 APLICACION DEL CEMENTO PUZOLANICO.

Se ha establecido que una de las razones principales que lleva a la destrucción del cemento portland endurecido, es la formación del Ca(OH)_2 , como resultado del proceso de endurecimiento. Este hidróxido se disuelve en el medio acuoso o es propicio para formar componentes que destruyen al cemento como interacción de las sales que contienen aguas subterráneas y marinas, por eso, para la construcción de obras hidrotécnicas y submarinas se emplea el cemento puzolánico o el cemento portland-puzolánico, en los cuales, las aguas corrosivas no tienen mayor influencia.

Se usa también el cemento puzolánico, en construcciones expuestas a medios húmedos, y para el hormigón ciclopio (compacto) de las construcciones hidrotécnicas. Dada su disminuida resistencia a la congelación y al aire este cemento no es recomendable para el uso de construcciones de hormigón armado en las condiciones de endurecimiento al aire, puesto que el secado rápido que se observa en este hormigón, puede desacelerar el proceso de endurecimiento y traer consigo la contracción significativa de este cemento.

CAPITULO III

BIB: A

YACIMIENTOS DE POTENCIALES PUZOLANAS EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

3.1 CRITERIOS GEOLOGICOS Y LITOLOGICOS DE PROSPECCION.

Los principales objetivos de este trabajo son: primero, encontrar un material puzolánico cuyo yacimiento se halle cerca de la industria de cemento, LA CEMENTO NACIONAL C.A.; segundo, que el material no necesite de tratamientos para su activación, con esto se desecha a las puzolanas artificiales, ya que éstas requieren altas temperaturas para su activación; y, tercero, que el material no sea una roca muy dura.

Las razones de estos objetivos son que tanto el transporte como la activación y la molienda respectivamente hacen que no se cumpla con un factor importante como lo es el de bajar el costo de producción del cemento.

Así entonces queda claro que tenemos que buscar rocas blandas como las tobas, diatomitas, cenizas volcánicas, etc. principalmente.

Para esto se recurrió a la "GUIA GEOLOGICA DEL SUR-

OESTE DE LA COSTA ECUATORIANA" donde se escogió los siguientes posibles yacimientos de puzolanas, cuyas características se transcriben a continuación.

MIEMBRO CALENTURA: Tiene aproximadamente 150 m. de espesor, constituídos por alternancias de areniscas, lutitas calcáreas y tobas blancas. Su tope lo integran grauvacas blancas. De manera general se puede definir a Calentura como un flisch que presenta, fauna de Ammonites e Inoceramus, de edad turoniano superior (Bristow y Hoffstetter, 1977), que pasa gradualmente a la unidad suprayacente, Cayo s.s. con la aparición de brechas sedimentarias, de fragmentos verdes y grauvacas pardo verdosas, relacionadas con la ocurrencia de sills andesíticos contemporáneos.

MIEMBRO GUAYAQUIL: De edad Maestrichtiano, hasta posiblemente Daniano, según Sigal (in Bristow y Hoffstetter, 1977). La localidad tipo es una cantera cerca de la ciudad de Guayaquil. Su litología comprende, argilitas silicificadas, con capas de chert, argilitas tobáceas, areniscas finas, en capas delgadas y en general lutitas silicificadas, con vetas de cuarzo. Un espesor de 600 m. ha sido reportado en la parte superior del Cerro Azul al

Oeste de Guayaquil.

FORMACION SAN MATEO: Tanto en el flanco occidental como oriental, de la cordillera Chongón-Colonche, en la región de Manabí, se encuentra esta unidad, que dado a sus características litológicas, se compara con el Grupo Ancón. Se trata de dos facies superpuestas: una la inferior, constituido por un flysch turbidíticos, de color blanco amarillento y gris verdoso con capas delgadas de limolitas y areniscas finas, alternantes con lutitas (conocida como parte superior de la Formación Cerro de algunos investigadores) y la facie superior compuesta por tobas blancas, en su base y hacia el tope, un conjunto conglomerático de flujo de detritos muy potentes, presencia de fauna pelágica y bloques de roca ígnea, anormalmente grandes, que indican un mecanismo general de hundimiento, en ambiente marino no torrencial.

MIEMBRO VILLINGOTA: Ocurre en contacto con el miembro Dos Bocas, siendo su litología la siguiente : Lutitas diatomeáceas suaves, con abundante escamas de peces; el color generalmente gris, pero por intemperismo se transforma en blanco.

A pesar de que el ambiente de depositación de este miembro, es muy similar al antes descrito, se nota un aumento en aportes silíceos y mejor cantidad de radiolarios. Se ha estimado para esta unidad, un espesor de 300 m.

FORMACION PORBON: Capas macizas de areniscas, de color gris azulado, de grano medio a grueso, a veces conglomeráticas, en especial en la base, e intercalaciones de lutitas tobáceas y lentes de areniscas calcáreas coquinoideas, integran esta unidad estratigráfica, muy distribuída en los cerros de la baja Cuenca de Manabí, en donde se ha estimado un espesor promedio de 200 m.

El interés se ha centrado en las facies subrayadas en cada miembro o formación antes transcritas.

Se visitó todos los lugares donde existía la posibilidad de encontrar un yacimiento de puzolana con las características adecuadas; se fueron eliminando afloramientos por algunas de las siguientes causas: cantidad escasa, material muy contaminado, constituir roca muy compacta difícil de molerla, etc. Es así que desechando los afloramientos que no cumplían con las características y objetivos deseados se escogió a dos: el uno localizado cerca de la ciudad

de Montecristi y el otro cerca de la población de Colonche.

3.2 LOCALIZACION Y DESCRIPCION DE LOS YACIMIENTOS.

El primer afloramiento elegido está localizado en la Provincia de Manabí cerca de la ciudad de Montecristi a unos 3 Km. aproximadamente de la población Bajo-Afuera. (ver Anexo A)

Se reconoció una TOBA de color blanco, muy deleznable de un espesor visible de 2.5 a 3 m. aproximadamente, está dispuesta en forma horizontal y se encuentra a un lado de la vía; en la parte superior hay una capa de aproximadamente 1.5 m. de espesor de suelo; al parecer la TOBA continúa algunos metros hacia abajo y desaparecer a los costados después de unos 10 metros de longitud, es una especie de cerro pequeño que fue cortado para hacer la vía. A lo largo de esta ruta no se visualizó más este material que está rodeado en su mayoría por areniscas finas a medias, con sedimentación irregular, con la presencia de vetitas de lignito, así como grauvacas y lutitas. La toba blanca también aflora, al pie de la vía Montecristi-Manta, a unos 5 Km. antes de llegar a Manta y tiene una longitud aproximada de

unos 500 metros.

El segundo afloramiento se encuentra localizado al pie de la vía Colonche-Javita a una distancia de 1.9 Km. de la población de Colonche. (ver Anexo B)

Este afloramiento tiene un espesor visible aproximado de 3.5 m. un rumbo de 40 NW y un buzamiento de 40 a 50 grados; el mismo que tiene al menos dos secuencias a saber: en la parte superior se presenta un material volcánico (toba) de color blanco, algo dura y liviana, en la parte inferior o base un aglomerado fino algo deleznable.

3.3 MUESTREO : CRITERIOS APLICADOS

Para este caso, en los dos afloramientos escogidos se realizó el muestreo de la siguiente manera:

En el primer afloramiento se tomó muestras en tres lugares que estaban lo más apartados posibles con el objeto de que sean lo más representativo que se pueda del afloramiento; la cantidad en cada sitio fue de aproximadamente de 400 libras.

En el segundo afloramiento se realizó la misma ta-

rea que anterior a pesar de que éste era un poco más pequeño y la cantidad recogida fue de aproximadamente de 300 libras por sitio.

3.4 ESTUDIO PETROGRAFICO

El estudio petrográfico fue muy difícil realizarlo puesto que el material era muy fino y no contiene minerales lo suficientemente grandes como para poder visualizarlos en el microscopio binocular estereóreo. Se procedió entonces a confeccionar láminas delgadas de un mortero de cemento y el material a estudiar, pero tampoco fue posible una identificación confiable en el microscopio de polarización. Así, fue necesario recurrir a un estudio químico cuantitativo de las muestras y, valiéndonos de las reglas de NIGGLI, poder deducir los minerales y sus porcentajes presentes en las muestras y así tener la seguridad de que con que roca fue que se trabajó en este estudio.

Este método ofrece un sistema taxonómico, acordando que los análisis de la roca pueden ser cuantitativamente comparados y estudiados desde el punto de vista petrológico. Los análisis de la roca son dados en términos de óxidos, en una forma de moléculas mi

nerales estándar.

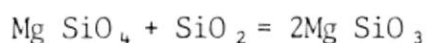
Los minerales estándar de la norma fueron propuestos de la siguiente manera:

- 1) Los cálculos pueden ser simples.
- 2) Los minerales de la norma y las asociaciones minerales pueden corresponder a condiciones naturales.

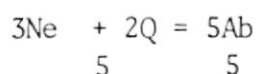
Para el cálculo actual, las formas de análisis químico serán otra vez la base. En el cambio de la norma, las proporciones moleculares de varios óxidos fueron asignadas y los números moleculares combinados fueron acordados a ciertas reglas que están controladas por los cuatro autores anteriormente mencionados. Pocas adherencias fueron propuestas posteriormente por Barth y Washington.

El cambio más importante fue introducido por NIGGLI (1936), quien se apoya en las siguientes consideraciones:

Las proporciones moleculares fueron empleadas para formar varias moléculas minerales, subsecuentemente las moléculas minerales fueron recalculadas y pesadas en porcentajes.



Esto es importante para anotar que la suma de los coeficientes de reacción sobre ambos lados de la ecuación es de la siguiente forma:



Niggli en el desarrollo del cálculo de los minerales establece nuevas reglas en favor de la proporción de cationes (metales y sílice), los cuales son también proporcionales y equivalentes a las unidades moleculares (E.M.).

Así algunas de las moléculas de óxidos contienen más de un catión, estas moléculas de óxido son convertidas en proporción de cationes (P.C.) por una multiplicación por dos con el correspondiente número molecular.

Para aquellos óxidos que contienen un catión el número del catión es por supuesto el mismo del número molecular. Los números de cationes así establecidos son nuevamente recalculados para dar una suma de 100, los cuales darán el porcentaje de la roca.

Hechos los pasos anteriores, se procede al cálculo normativo siguiendo las reglas establecidas por Niggli.

La diferencia del cálculo con respecto al CIPW es que es más exácto y que con base en las primeras modificaciones de Niggli, la obtención de los porcentajes de los minerales involucrados es más directa.

Una vez que el análisis de la roca es recalculado a una suma de 100 cationes (C), la norma molecular puede ser computada con grandes casos.

REGLAS DE NIGGLI :

Las reglas de los cálculos de la norma son:

- 1) La calcita se forma por CO_2 y una igual cantidad de Ca (calcio).
- 2) La apatita está formada por P (fósforo) y 1.67 veces esta cantidad molecular de Ca (calcio).
- 3) La pirita está formada por S y la mitad de esta cantidad molecular de Fe_2+
- 4) La ilmenita se forma por Ti y una igual cantidad de Fe_2+

- 5) Los feldespatos alcalinos son formados provisionalmente por K y Na combinadas en proporciones correctas de Al y Si para formar Or y Ab.
- 6) Si hay un exceso de Al sobre K + Na se asigna a la anortita, con la mitad de la cantidad molecular de Ca que ha sido asignada al exceso de Al.
 - Si hay un exceso de Al sobre Ca se calcula como corindón.
 - Si en (5) hay un exceso de Ca sobre este Al de (6) es fémico y se reserva para la Wollanstoniita (8).
- 7) Si en (5) hay un exceso de Na sobre Al, este se combina con una igual cantidad molecular de Fe_3+ , para formar moléculas de acmita. Entonces no hay en la norma.
 - Si como sucede comúnmente hay un exceso de Fe_3+ sobre Na, se asigna a la magnetita, con la mitad de la cantidad molecular de Fe_2+ que había sido designada para formar pirita e ilmenita y que fue sobrante.
 - Si hay un exceso de Fe_2+ sobre Fe_3+ , se calcula este exceso como hematita.

- 8) La wollanstonita es formada con la mitad de la cantidad molecular de Ca sobrante de (6).
- 9) La enstatita y la ferrosilita son formados provisionalmente por todo el Mg y Fe_2+ remanente y asignaciones anteriores.

Todos los cationes, excepto el sílice, han sido asignados a moléculas minerales, ya sean provisionales o permanentes, y ahora consideremos la distribución del sílice.

- 10) Si hay un exceso de Si (sílice), se calcula como cuarzo.

- Si hay una deficiencia de Si (sílice), minerales de menor grado de silificación sustituyen parcial o totalmente a los minerales que se formaron provisionalmente.

En el orden los cambios correctos son: wollanstonita (Wo) que se combina con una igual cantidad molecular de (En + Fs) para formar diopsida (Di). En diopsida y olivino la proporción $FeOMgO$ debe ser la misma como en los piroxenos formados provisionalmente.

- La cantidad molecular necesaria de (En + Fs) sobrante de (10.a) es convertida en olivino (Fo y Fa) de acuerdo a la ecuación:

$$4En = 3Fo + 1Q$$

- Si no hay suficiente Si en el análisis, la albita es parcial o totalmente convertida en nefelina de acuerdo con la ecuación:

$$5Ab = 3Ne + 2Q$$

- Finalmente, si el análisis es muy bajo en Si, la ortoclasa es en parte o totalmente convertida en leucita:

$$5Or = 4Lc + 1Q$$

- En casos raros no hay suficiente Si ni para la leucita, entonces se forma la Kaliofilita.

$$4Lc = 3Kp. + 1Q$$

(Ver Anexos C y D)

CAPITULO IV

PARTE EXPERIMENTAL

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En este capítulo se desarrollan todas las actividades prácticas de este trabajo, es decir de los estudios de laboratorio que se hicieron comenzando desde la molienda hasta la obtención de los resultados de la resistencia a la compresión de las distintas muestras. Para este efecto denominaremos a la muestra sacada cerca de la ciudad de Montecristi como muestra de MONTECRISTI y a la muestra sacada cerca de Colonche como muestra de COLONCHE.

Todos los ensayos realizados están basados en las normas que emite el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN).

Además y para tener una homogenidad de tamaño de las partículas de las muestras se molió de la siguiente manera:

Las dos muestras se pasaron primero por el molino de mandíbulas, luego de lo cual se procedió a de-

terminar el porcentaje de humedad de las dos muestras, dando como resultado el tener que secar las muestras antes de pasar a molerla en el molino de discos; a las dos muestras se las metió en una mufla a 100 grados centígrados, durante media hora a la muestra de Montecristi y una hora por la muestra de Colonche. Una vez secas las muestras se las pasó por el molino de discos y se procedió a tamizar cada una de las muestras obteniéndose un retenido en la malla #200 adecuado para poder proceder a ensayar las muestras, pero, como estos materiales mientras más finamente molidos estén dan mejores resultados se procedió a moler una parte de las dos muestras en el molino de bolas, durante una hora para la muestra de Montecristi ya que tenía menor porcentaje de retenido en la malla #200, y durante una hora con treinta minutos para la muestra de Colonche, luego de lo cual se volvió a tamizar las dos muestras rebajando considerablemente el porcentaje de retenido la malla #200 obteniéndose así un material muy fino.

Para determinar la densidad se usó el BALON DE LECHATELIER de la siguiente manera:

- Se vierte kerex hasta el cero del balón.

- Se introduce el balón en la cámara húmeda (durante unos 20 minutos) con el objeto de que la temperatura del kérex se estabilice, y luego se toma lectura.
- Se agrega 60 gramos de material, con la ayuda de un embudo.
- Se vuelve a introducir el balón en la cámara húmeda (durante unos 20 minutos) luego de lo cual se vuelve a tomar lectura.
- Con el volumen desplazado (diferencia de las dos lecturas).

Se calcula la densidad con la siguiente fórmula:

$$D = P/V$$

donde:

D = densidad (gr/cm³)

P = peso del material (gr)

V = volumen desplazado (cm³)

El tiempo de fraguado del mortero se lo determina de la siguiente manera :

- Se pesa 500 gramos de material (cantidad constante)

- En la mezcladora se vierte 126 cm de agua (inicialmente) y los 500 gramos de material (cemento).
- Se deja en reposo durante 30 segundos y luego se prende la mezcladora en velocidad 1 (lenta), durante 30 segundos.
- Luego se apaga la mezcladora y se revuelve el material, con el compactador, durante 15 segundos.
- Se prende luego la mezcladora en velocidad 2 (rápida) durante 60 segundos.
- Luego con guantes de caucho se coge el mortero y se balancea 4 ó 5 veces.
- El mortero se lo coloca en el recipiente de la aguja de Vicat (por la parte de abajo) para luego enrasar (por la parte de arriba).
- Luego se acciona la aguja de Vicat (la sonda), la misma que tiene que penetrar de 9 a 11 mm en 30 segundos.
- Cuando esto ocurre se coloca la muestra en la cámara húmeda y se anota la hora en que el cemento se puso en contacto con el agua.

Si no se logra la penetración requerida se repite el proceso aumentando (cuando la penetración de la sonda es menor de 9 mm) o bajando (cuando la penetración de la sonda es mayor de 11 mm) la cantidad de agua.

- Aproximadamente después de 2 horas que ha estado en la cámara húmeda se ensaya la muestra con la aguja de Vicat (aguja) y se espera que ésta penetre de 24 a 26 mm en 30 segundos tomando lectura del tiempo transcurrido. Así se determina el tiempo inicial de fraguado, luego se vira el recipiente de la aguja de vicat y se coloca en la cámara húmeda por un lapso de 3 horas más o menos y se procede a ensayar otra vez con la aguja de Vicat (aguja) y si ésta no deja huellas, se toma el tiempo, y éste es el tiempo final del fraguado.

En los siguientes cuadros sintetizamos las características químicas y físicas de las muestras:



ELEMENTO	M U E S T R A S		
	MONTECRISTI	COLONCHE	CEMENTO
Al ₂ O ₃	9,80%	9,10%	3,40%
K ₂ O	3,54%	2,54%	0,20%
CaO	2,80%	1,90%	65,20%
Fe ₂ O ₃	1,80%	2,50%	4,10%
SiO ₂	60,00%	56,40%	22,80%
SO ₃	2,30%	1,14%	1,89%
P.F.*	6,00%	8,50%	1,47%

*P.F. = Pérdidas al fuego.

TABLA I CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LAS MUESTRAS

ENSAYOS	M U E S T R A S	
	MONTECRISTI	COLONCHE
Blaine en cm ² /gr	5.221	4.950
Retenido en malla #200	2,0%	4,8%
Porcentaje de humedad	0,6%	1,6%
Densidad en gr/cm ³		
1	2,356	2,290
2	2,319	2,184
PRO.	2,34	2,24

TABLA II CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS MUESTRAS

La composición química de las mezclas de cemento portland con puzolana la resumimos en el siguiente cuadro :

C = CEMENTO PORTLAND TIPO I

M₁ = PUZOLANA DE MONTECRISTI

C₁ = PUZOLANA DE COLONCHE

M₁₁ = 15% M₁ + 85% C

M₁₂ = 20% M₁ + 80% C

M₁₃ = 25% M₁ + 75% C

M₁₄ = 30% M₁ + 70% C

C₁₁ = 15% C₁ + 85% C

C₁₂ = 20% C₁ + 80% C

C₁₃ = 25% C₁ + 75% C

C₁₄ = 30% C₁ + 70% C

R. I. = RESIDUO INSOLUBLE

P. F. = PERDIDAS AL FUEGO



BIBLIOTECA

PRUEBAS	M U E S T R A S			
	M ₁₁	M ₁₂	M ₁₃	M ₁₄
SiO ₂	28,00	29,70	31,70	33,90
Al ₂ O ₃	4,30	4,60	5,20	5,70
Fe ₂ O ₃	3,90	3,80	3,70	3,60
CaO	56,50	53,40	50,70	46,60
P.F.	2,40	2,80	3,20	3,70
SO ₃	2,10	2,20	2,10	2,20
K ₂ O	0,79	0,93	1,05	1,21
TOTAL	97,99	97,43	96,65	96,91
CAL CALIBRE	0,85	0,60	0,65	0,55
R. I.	17,10	20,20	22,70	26,20

TABLA III COMPOSICION QUIMICA DE LAS MEZCLAS DE CEMENTO CON PUZOLANA (Muestra de Montecristi)

PRUEBAS	M U E S T R A S			
	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄
SiO ₂	26,70	28,60	30,00	31,40
Al ₂ O ₃	4,70	5,20	5,50	5,80
Fe ₂ O ₃	4,00	4,00	4,00	4,00
CaO	56,50	53,90	51,30	48,50
P.F.	2,42	2,76	3,15	3,71
SO ₃	1,71	1,65	1,53	1,45
K ₂ O	0,67	0,77	0,86	0,95
TOTAL	96,70	96,88	96,34	95,81
CAL CALIBRE	0,85	0,80	1,00	0,80
R. I.	17,30	20,10	22,31	26,30

TABLA IV COMPOSICION QUIMICA DE LAS MEZCLAS DE CEMENTO CON PUZOLANA (Muestra de Colonche)

4.2 ACTIVIDAD PUZOLANICA

La actividad puzolánica se la determina especialmente por dos métodos: de la cal y el del cemento portland. Existe el otro método poco usado que es el del índice hidráulico.

4.2.1 METODO DE LA CAL

El objetivo de este método es determinar el índice de actividad de las puzolanas en contacto con la cal hidratada.

Para realizar este ensayo se necesitó del siguiente instrumental:

- Tamices
- Mezcladora
- Mesa de flujo
- Molde tronco cónico de acero inoxidable.
- Moldes cilíndricos de metal con 50 ± 0.3 mm de diámetro interior y una altura de 100 ± 0.3 mm.
- Varilla cilíndrica de metal de 340 gr. de

masa y que posea una cara plana de 25 mm. de diámetro perpendicular a las generatrices.

- Prensa hidráulica
- Balanza

Los materiales que se usaron en este ensayo fueron:

- Cal hidratada.
- Arena normal constituída por sílice natural originaria de los yacimientos de Ottawa, Illinois (E.U.A.).
- Puzolana.

El mortero está constituído en peso por:

- 100 gramos de cal
- 900 gramos de arena
- La cantidad de puzolana se la determina mediante la siguiente fórmula:

$$P = 2Mc(D/D_1)$$

donde:

P = cantidad de puzolana en gramos

Mc = cantidad de cal en gramos

D = densidad de la puzolana en gramos/cc.

D₁ = densidad de la cal en gramos/cc.

Se hizo los cálculos para cada muestra y se obtuvo :

MUESTRA DE COLONCHE :

$$P = 2(100) (2,24/2,30)$$

$$P = 194 \text{ gramos}$$

MUESTRA DE MONTECRISTI :

$$P = 2(100) (2,34/2,30)$$

$$P = 203 \text{ gramos}$$

La cantidad de agua que se debía agregar al mortero se determinó por medio de la mesa de flujo, es decir, determinando la consistencia normal del mortero.

a) CONSISTENCIA NORMAL DEL MORTERO CAL-PUZOLANA :

Para encontrar la consistencia normal del mortero cal-puzolana se procedió como se

indica a continuación:

- Colocar el molde cónico centrado sobre el disco de la mesa de flujo.
- Estando la mesa limpia y seca, verter el mortero en el molde sin apisonarlo, asegurándose de que la distribución sea uniforme y el molde quede completamente lleno.
- Enrasar a nivel mediante una llana, evitando sacudir o comprimir el mortero.
- Retirar con cuidado el molde y de inmediato accionar el dispositivo, haciendo caer el disco libre, sucesiva y regularmente 25 veces en 15 segundos.
- Por medio de una regla graduada, efectuar dos mediciones del diámetro de la base de la probeta, tomados perpendicularmente entre sí y aproximados al milímetro.
- Se preparan mezclas de tanteo, variando la cantidad de agua, hasta obtener la

consistencia requerida; es decir hasta que el índice de flujo de una consistencia de $100 \pm 10\%$.

El índice de flujo se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I = 100 * (Df - Di)/Di$$

Siendo:

I = Índice de flujo viene dado en %.

Df = Diámetro final de la probeta viene dado en mm.

Di = Diámetro inicial de la probeta viene dado en mm.

b) INDICE DE FLUJO Y RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL MORTERO CAL-PUZOLANA PARA DETERMINAR SU ACTIVIDAD;

El ensayo de la consistencia normal nos dió el índice de flujo para cada una de las muestras, obteniéndose los siguientes resultados:

Para la muestra de Colonche:

$$Df_1 = 190 \text{ mm}$$

$$Df_2 = 195 \text{ mm}$$

El diámetro inicial es siempre de 100 mm, tomando promedio de las dos mediciones y aplicando la fórmula tenemos:

$$I = 100 * (192,5 - 100)/100$$

$$I = 92,5\%$$

Para la muestra de Montecristi:

$$Df_1 = 200 \text{ mm}$$

$$Df_2 = 198 \text{ mm}$$

Tomando promedio para calcular el índice de flujo tenemos:

$$I = 100 * (199 - 100)/100$$

$$I = 99,0\%$$

La cantidad de agua para obtener estos índices de flujo fue de 200 cc. por lo tanto la cantidad de agua que hubo que agregar a los morteros para las dos muestras

fue de 200 cc.

BIB: FCA

Una vez determinadas las distintas cantidades de los elementos que componen el mortero se procedió a la preparación del mismo para hallar la resistencia a la compresión con las condiciones siguientes:

Los materiales y la sala de trabajo deben estar a una temperatura de 20 ± 2 grados centígrados y la humedad relativa del aire de la sala no debe ser menor del 65%.

La preparación del mortero consiste en:

- Colocar en un recipiente la puzolana secada a 198 ± 2 grados centígrados y la cal, tapar el recipiente y agitarlo vigorosamente durante dos minutos.
- Colocar la mezcladora en posición de marcha y verter los 200 cc. de agua en el recipiente de la mezcladora.
- Agregar al agua la mezcla de puzolana y cal y poner en marcha la mezcladora en velocidad 1 (lenta).

- Después de 30 segundos de mezclado, agregar en los otros 30 segundos los 900 gramos de arena, luego pasar la mezcladora a la velocidad 2 (rápida).
- Mantener en movimiento la mezcladora durante 30 segundos más y luego detenerla por 90 segundos (reposo).
- Durante los 15 primeros segundos de reposo, quitar con una paleta de caucho el mortero adherido a las paredes, enviándolo hacia el fondo del recipiente y cubrir este todo el tiempo restante (75 segundos).
- Continuar el mezclado a velocidad rápida durante 60 segundos. Inmediatamente se pasa a moldear las probetas que se hizo en un número de tres para cada muestra a ensayar.

El moldeo consiste en llenar cada molde en cuatro capas más o menos de igual altura, luego se apisona cada capa 25 veces con una varilla cilíndrica, hasta obtener

una probeta homogénea.

Luego de moldear las probetas se sella herméticamente para impedir pérdidas de humedad.

El almacenamiento de las probetas se las realiza dentro de los moldes a 23 ± 2 grados centígrados durante 24 ± 2 horas, en el humificador o cámara húmeda, luego se pasa a una mufla a $55 \pm 1,5$ grados centígrados por seis días, hasta $4 \pm 0,5$ horas antes del ensayo, enfriándolas a 23 ± 2 grados centígrados. Este ensayo arrojó los siguientes resultados:

MUESTRA	RESISTENCIA A LA COMPRESION EN (LbF)	RESISTENCIA PROMEDIO EN (Kg/cm ²)	INDICE DE ACTIVIDAD EN (MPa)
CC	2000 1950 1700	43,59	4,4
CM	2500 2350 2400	55,94	5,6

TABLA V INDICE DE ACTIVIDAD (Método de la cal)

CC = Mortero con puzolana de Colonche.

CM = Mortero con puzolana de Montecristi.

NOTA : 1 MPa = 10 Kg/cm²

MORTERO PATRON:

- 500 gramos de cemento portland tipo I.
- 1.500 gramos de arena normal.
- 250 cc. de agua

MORTERO DE ENSAYO:

- 325 gramos de cemento portland
- 1.500 gramos de arena normal
- 250 cc. de agua
- Una cantidad "P" de puzolana que se determina mediante la siguiente fórmula:

$$P = 175*(D/D_1)$$

Donde tenemos:

$$P = 175*(2,34/3,15)$$

P = 130 gramos para la puzolana de Montecristi.

$$P = 175*(2,24/3,15)$$

P = 125 gramos para la puzolana de Colonche.

4.2.2 METODO DEL CEMENTO PORTLAND

El objetivo de este método es determinar el índice de actividad de las puzolanas en contacto con el cemento portland.

Para realizar este ensayo se necesitó del siguiente instrumental:

- Mezcladora
- Compactor
- Espátula
- Balanza

Los materiales que se usaron para este ensayo fueron:

- Cemento portland tipo I
- Arena normal constituída por sílice natural, originaria de los yacimientos de Ottawa, Illinois (E.U.A.).
- Puzolana.

El mortero está constituído en peso por:

- a) RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL MORTERO CEMENTO PORTLAND-PUZOLANA PARA DETERMINAR LA ACTIVIDAD :

El índice de actividad puzolánica con cemento portland se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$I_p = 100*(R/R_1)$$

siendo:

I_p = Índice de actividad puzolánica con cemento portland (%).

R = Promedio de las resistencias a la compresión de las muestras de mortero de ensayo en MPa.

$$(1\text{MPa} = 1 \text{ Kgf/cm}^2)$$

R_1 = Promedio de las resistencias a la compresión de las muestras de mortero de patrón en MPa.

$$(1\text{MPa} = 1 \text{ Kgf/cm}^2)$$

Este ensayo arrojó los siguientes resultados :

MUESTRA	RESISTENCIA A LA COMPRESION EN (Lbf)	RESISTENCIA PROMEDIO EN (Kg/cm ²)	INDICE DE ACTIVIDAD EN (%)
CCT	11000	208,43	---
	12500		
	12000		
CC	8700	145,00	69,6
	8000		
	8000		
CM	9800	175,00	83,96
	10000		
	10000		

CCT = Mortero sin puzolana

CC = Mortero con puzolana de Colonche

CM = Mortero con puzolana de Montecristi

TABLA VI INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DEL CEMENTO)

4.2.3 METODO DEL INDICE HIDRAULICO

Para determinar el índice hidráulico de las puzolanas se utilizó el mismo instrumental que para el método del cemento y además se moldeó y almacenó de la misma manera.

La cantidad material que se utilizó para elaborar las probetas es la siguiente:

CP = 490 Gms. C + 210 Grms. P + 2035 Gms. A

CA. = 490 Gms. C + 210 Gms. A (fina) + 2035 Gms. A

CC = 700 Gms. C + 2035 Gms. A

C = CEMENTO PORTLAND TIPO I

A = ARENA DE OTTAWA

P = PUZOLANA

A (fina) = Arena de Ottawa molida en el molino excéntrico.

Obteniéndose los siguientes resultados:

MUESTRA	RESISTENCIA A LA COMPRESION (Lbf)	RESISTENCIA PROMEDIO EN (Kg/cm ²)
CPM*	13750 13350 13450	238,08
CPC	9700 9850 9000	167,63
CC	13750 13800 13150	238,96
CA	6700 5850	108,91

*CPM = Mortero con puzolana de Montecristi
CPC = Mortero con puzolana de Colonche

TABLA VII INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DEL INDICE HIDRAULICO)

4.3 CARACTERISTICAS FISICAS DEL CEMENTO PUZOLANICO.

Teniendo en cuenta la siguiente nomenclatura:

C = Cemento Portland tipo I

A = Arena de Ottawa C-109

C₁ = Puzolana de Colonche

M₁ = Puzolana de Montecristi

M₁₁ = 85% C + 15% M₁

M₁₂ = 80% C + 20% M₁

M₁₃ = 75% C + 25% M₁

M₁₄ = 70% C + 30% M₁

C₁₁ = 85% C + 15% C₁

C₁₂ = 80% C + 20% C₁

C₁₃ = 75% C + 25% C₁

C₁₄ = 70% C + 30% C₁

La cantidad de agua usada fue de 400 cc. (véase Tabla VIII).

BLAINE : (cm²/gr)

EXPANSION : (%)

PENETRACION : (%)

DENSIDAD : (gr/cm³)

FLUJO : (%)

FRAGUADO : (min.)

MUESTRA	BLAINE	EXPAN	PENET	DENSI	FLUJO	FRAGUADO	
						i	f
M ₁₁	3598	-0,034	87,0	3,00	113,3	340	508
M ₁₂	3696	-0,036	86,0	2,95	112,8	350	516
M ₁₃	3720	-0,042	90,3	2,92	112,6	336	498
M ₁₄	3792	-0,040	91,7	2,89	113,5	350	519
C ₁₁	3488	-0,036	86,2	3,0	112,0	320	450
C ₁₂	3409	-0,049	90,4	2,93	110,0	330	447
C ₁₃	3556	-0,057	95,4	2,85	113,0	328	444
C ₁₄	3688	-0,057	92,1	2,80	111,0	347	492

TABLA VIII CARACTERISTICAS FISICAS DEL CEMENTO PUZOLANICO.



BIBLIOTECA

4.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PORTLAND CON PUZOLANA.

Para la preparación de los morteros, los materiales y la sala de trabajo deben estar a una temperatura de 20 ± 2 grados centígrados y la humedad relativa del aire de la sala no debe ser menor del 65%.

La preparación del mortero consiste en :

- Colocar la mezcladora en posición de marcha y verter los 250 cc. de agua en el recipiente de la mezcladora.

- Agregar al agua los 500 gramos de cemento portland (para el caso del mortero patrón), 455 gramos de la mezcla cemento portland-puzolana (325 gramos de cemento portland y 130 gramos de puzolana) para el caso del mortero de ensayo con puzolana de Montecristi, ó 450 gramos de la mezcla cemento portland-puzolana (325 gramos de cemento portland y 125 gramos de puzolana) para el caso del mortero de ensayo con puzolana de Colonche.

- Agregar el cemento o la mezcla y poner en marcha la mezcladora en velocidad 1 (lenta).
- Después de 30 segundos de mezclado, agregar en los otros 30 segundos los 1.500 gramos de arena normal, luego pasar la mezcladora a velocidad 2 (rápida).
- Mantener en movimiento la mezcladora durante 30 segundos y luego detenerla por 90 segundos (reposo).
- Durante los 15 primeros segundos en reposo, quitar con una paleta de caucho el mortero adherido a las paredes, enviándolo al fondo del recipiente y cubrir éste todo el tiempo restante (75 segundos).
- Continuar el mezclado a velocidad rápida durante 60 segundos. Inmediatamente se pasa a moldear las probetas que se hizo en un número de tres para cada una de las muestras a ensayar.

Los moldes que se utilizan para este método son cúbicos de 50 mm. de arista.

Para el moldeo se procede de la siguiente ma
nera:

- Se vierte el mortero hasta aproximadamente la mitad del molde.
- Luego con el compactador se le apisona 8 veces entre caras paralelas del cubo luego se procede a apisonar 8 veces más, pero en las caras perpendiculares a las anteriores y se repite el ciclo.
- Se rellena el molde con el mortero.
- Se procede con el compactador de igual manera que en la primera capa del mortero.
- Se engrasa los moldes con una espátula.

Los moldes con el mortero se los almacena en la cámara húmeda por 24 horas luego se desmoldan y los cubos se los coloca en una piscina durante 27 días a una temperatura de 23 grados centígrados, la misma de la cámara húmeda, luego de esto se procede a determinar la resistencia a la compresión en la pre
sa hidráulica. La resistencia a la compresión del cemento portland con puzolana viene sintetizado en los siguientes cuadros:

EDAD	NUMERO DE PRUEBAS	RESISTENCIAS EN Lbf				
		C	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄
3	1	7500	6000	5100	4850	3200
	2	8100	5700	5200	4500	3300
	3	8000	6100	5000	4600	3200
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	138,6	104,5	90,0	82,0	57,0
	P.R.C.	---	75,4	64,9	59,2	41,1
7	1	10300	7800	7100	6000	4150
	2	11800	7200	7350	5000	4050
	3	12300	8100	6850	5650	4150
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	202,0	135,0	125,0	97,8	72,5
	P.R.C.	---	66,8	61,9	48,4	35,9
28	1	15800	12300	12850	10850	9000
	2	14000	13250	12600	10800	9700
	3	15500	12850	12850	9850	9250
	RESIST. PROM. Kg/cm ²	265,9	225,5	219,0	185,0	164,0
	P.R.C.	---	84,8	82,3	69,5	61,7

TABLA IX RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO (MUESTRA DE COLONCHE)

EDAD	NUMERO DE PRUEBAS	RESISTENCIAS EN Lbf				
		C	M ₁₁	M ₁₂	M ₁₃	M ₁₄
3	1	7500	5500	3450	4700	4000
	2	8100	5650	3450	5250	3700
	3	8000	5650	3500	4750	4000
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	138,6	98,6	61,1	86,3	68,7
	P.R.C.	---	71,1	44,1	62,3	49,6
7	1	10300	8000	5500	6750	6800
	2	11800	8200	4900	6100	5900
	3	12300	8150	4700	7050	6450
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	202,0	143,0	88,7	117,0	112,4
	P.R.C.	---	70,8	44,0	58,0	55,6
28	1	15800	13150	7900	10500	10500
	2	14000	12300	7900	12500	10700
	3	15500	12350	8000	11600	11500
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	265,9	221,9	139,7	203,2	192,0
	P.R.C.	---	83,4	52,3	76,4	72,2

TABLA X RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO (MUESTRA DE MONTECRISTI)

P.R.C. = Porcentaje de resistencia con respecto al cemento.

EDAD = Viene dada en días

AGUA = La cantidad de agua viene dada por el flujo: 400 cc.

Además de estos ensayos se hicieron otras pruebas adicionales cambiando algunas características del mortero, para determinar el comportamiento del material; así es que se obtuvieron los resultados. (Véase Tablas XI y XII).

En estos casos los materiales puzolánicos fueron calentados en una mufla a 200 grados centígrados durante aproximadamente dos horas.

4.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PORTLAND CON PUZOLANA EN MEDIOS CORROSIVOS

Para realizar este ensayo se probó con las soluciones más representativas de medios que contienen ácidos así como también de agua potable.

Así como también se tomó las mezclas de cemento portland-puzolana que mejores resultados dieron en el laboratorio, es decir que se tomó de la puzolana de Colonche a las muestras C_{11} y C_{12} y de la puzolana de Montecristi a las muestras M_{11} y M_{13} .

Los agentes corrosivos fueron: una solución al 15%

EDAD	NUMERO DE PRUEBAS	RESISTENCIAS EN lbf		
		CTO	C' ₁₁	C ₂₅
3	1	8200	3700	3950
	2	8000	3850	4200
	3	7900	4100	4250
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	141,5	68,4	72,8
	P. R. C.	---	48,3	51,4
7	1	10500	6200	6300
	2	12000	6050	6200
	3	12500	5900	6500
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	205,5	106,6	114,5
	P. R. C.	---	51,9	55,7
28	1	15500	9500	12700
	2	15600	10700	12150
	3	15100	9900	12550
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	271,5	176,7	219,6
	P. R. C.	---	65,1	80,9

TABLA XI RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO (PRUEBAS ADICIONALES)

CTO = Mortero sólo con cemento + 360 cc. de agua
 C'₁₁ = 85% C + 15% C₁ + 360 cc. de agua
 C₂₅ = 85% C + 15% C₁ + 242 cc. de agua

EDAD	NUMERO DE PRUEBAS	RESISTENCIAS EN Lbf			
		CTO	M ₂₅	M ₂₁	M ₂₃
3	1	8200	4500	6200	6700
	2	8000	4400	5650	6800
	3	7900	4250	5250	6850
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	141,5	77,2	100,4	119,5
	P.R.C.	---	54,5	71,0	84,5
7	1	10500	6500	8450	8250
	2	12000	6600	8250	8900
	3	12500	6800	8900	8800
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	205,5	116,8	150,3	152,4
	P.R.C.	---	56,8	73,1	74,2
28	1	15500	14500	11000	15700
	2	15600	14700	12700	14700
	3	15100	14700	13300	14000
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	271,5	257,8	217,2	260,7
	P.R.C.	---	95,0	80,0	96,0

TABLA XII RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO (PRUEBAS ADICIONALES)

CTO = Mortero sólo con cemento + 360 cc. de agua

M₂₅ = 85% C + 15% M₁ + 242 cc. de agua

AGENTE CORROSIVO	NUMERO DE PRUEBAS	RESISTENCIAS A LA COMPRESION (Lbf)				
		C	C ₁₁	C ₁₂	M ₁₁	M ₁₃
AGUA POTABLE	1	15700	12200	12800	13100	10500
	2	15000	12700	12700	12250	12400
	3	15400	13300	12600	12300	11500
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	270,7	224,3	223,7	221,1	202,0
	P.R.C.	---	82,9	82,6	81,7	74,6
SOLUCION	1	11000	9700	9450	11000	9800
	2	11200	9650	9400	10700	10100
	3	11100	9600	9600	10800	9700
AL 15% DE MgSO ₄	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	195,5	170,5	167,0	190,8	173,2
	P.R.C.	---	87,3	85,4	97,4	88,6
SOLUCION AL 10% DE NaSO ₄	1	13500	11500	11650	12400	11000
	2	13900	11700	11450	12250	11200
	3	13500	11600	11200	12200	11000
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	240,1	204,3	201,4	216,4	194,9
	P.R.C.	---	85,1	83,9	90,2	81,2
AGUA DE MAR	1	12200	10500	10200	11000	10000
	2	12450	10600	10350	11100	10200
	3	12600	10700	10500	11200	9800
	RESIST. PROMED. Kg/cm ²	218,7	186,7	182,3	195,5	176,1
	P.R.C.	---	85,4	83,4	89,4	80,5

TABLA XIII RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CEMENTO PUZOLANICO EN MEDIOS CORROSIVOS.

M₂₁ = 85% C + 15% M₁ + 360 cc. de agua

M₂₃ = 75% C + 25% M₁ + 360 cc. de agua

de sulfato de magnesio ($MgSO_4$), solución al 10% de sulfato de sodio ($NaSO_4$), y agua de mar.

Para la elaboración de las probetas se siguió el mismo método que para hallar la resistencia a la compresión anteriormente anotada. El almacenamiento de las probetas se las llevó a 30 días para luego ensayarlas.

En la Tabla XIII se dan los resultados obtenidos.

4.5 TABULACION DE DATOS Y GRAFICOS.

Vamos a resumir los cuadros presentados anteriormente con el fin de apreciar mejor el comportamiento de las muestras, tanto numéricamente como gráficamente.

MUESTRAS	INDICE DE ACTIVIDAD EN (MPa)
CC	4.4
CM	5.6

TABLA XIV INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DE LA CAL)

Valor mínimo requerido 4.5 MPa.



MUESTRAS	INDICE DE ACTIVIDAD EN (%)
CC	69,6
CM	83,96

TABLA XV INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DEL CEMENTO).

Valor mínimo 75%.

MUESTRAS	INDICE DE ACTIVIDAD EN (%)
CC	70,15
CM	99,63

TABLA XVI INDICE DE ACTIVIDAD (METODO DEL INDICE HIDRAULICO)

Valor mínimo requerido 70%.

CC = Mortero con puzolana de Colonche

CM = Mortero con puzolana de Montecristi

MUESTRA	R E S I S T E N C I A		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
C	138,6	202,0	265,9
C ₁₁	104,5	135,0	225,5
C ₁₂	90,0	125,0	219,0
C ₁₃	82,0	97,8	185,0
C ₁₄	57,0	72,5	164,0

TABLA XVII RESISTENCIA A LA COMPRESION (MUESTRA DE COLONCHE)

MUESTRA	P O R C E N T A J E		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
C	100,0	100,0	100,0
C ₁₁	75,4	66,8	84,8
C ₁₂	64,9	61,9	82,3
C ₁₃	59,2	48,4	69,5
C ₁₄	41,1	35,9	61,7

TABLA XVIII PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (MUESTRA DE COLONCHE)

C = Cemento

$$C_{11} = 15\% C_1 + 85\% C$$

$$C_{12} = 20\% C_1 + 80\% C$$

$$C_{13} = 25\% C_1 + 75\% C$$

$$C_{14} = 30\% C_1 + 70\% C$$

MUESTRA	R E S I S T E N C I A		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
C	138,6	202,0	265,9
M ₁₁	98,6	143,0	221,9
M ₁₂	61,1	88,7	139,7
M ₁₃	86,3	117,0	203,2
M ₁₄	68,7	112,4	192,0

TABLA XIX RESISTENCIA A LA COMPRESION (MUESTRA DE MONTECRISTI)

MUESTRA	P. R. C.		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
C	100,0	100,0	100,0
M ₁₁	71,1	70,8	83,4
M ₁₂	44,1	44,0	52,3
M ₁₃	62,3	58,0	76,4
M ₁₄	49,6	55,6	72,2

TABLA XX PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (MUESTRA DE MONTECRISTI)

C = Cemento

M₁₁ = 15% M₁ + 85% C

M₁₂ = 20% M₁ + 80% C

M₁₃ = 25% M₁ + 75% C

M₁₄ = 30% M₁ + 70% C

MUESTRA	R E S I S T E N C I A		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
CTO	141,5	205,5	271,5
C' ₁₁	68,4	106,6	176,7
C ₂₅	72,8	114,5	219,6

TABLA XXI RESISTENCIA A LA COMPRESION (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE COLONCHE)

MUESTRA	P. R. C.		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
CTO	100,0	100,0	100,0
C' ₁₁	48,3	51,9	65,1
C ₂₅	51,4	55,7	80,9

TABLA XXII PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE COLONCHE)

CTO = Cemento

C'₁₁ = 15% C₁ + 85% C + 360 cc. de agua

C₂₅ = 15% C₁ + 85% C + 242 cc. de agua

MUESTRA	R E S I S T E N C I A		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
CTO	141,5	205,5	271,5
M ₂₅	77,2	116,8	257,8
M ₂₁	100,4	150,3	217,2
M ₂₃	119,5	152,4	260,7

TABLA XXIII RESISTENCIA A LA COMPRESION (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE MONTECRISTI)

MUESTRA	P. R. C.		
	3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
CTO	100,0	100,0	100,0
M ₂₅	54,5	56,8	95,0
M ₂₁	71,0	73,1	80,0
M ₂₃	84,5	74,2	96,0

TABLA XXIV PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE MONTECRISTI).

CTO = Cemento

M₂₅ = 15% M₁ + 85% C + 242 cc. de agua

M₂₁ = 15% M₁ + 85% C + 360 cc. de agua

M₂₃ = 25% M₁ + 75% C + 360 cc. de agua

MEDIO CORROSIVO	R E S I S T E N C I A S				
	C	C ₁₁	C ₁₂	M ₁₁	M ₁₂
A. P.	270,0	224,3	223,7	221,1	202,0
MgSO ₄	195,5	170,5	167,0	190,8	173,2
NaSO ₄	240,1	204,3	201,4	216,4	194,9
A. M.	218,7	186,7	182,3	195,5	176,1

TABLA XXV RESISTENCIA A LA COMPRESION FRENTE A MEDIOS CORROSIVOS.

MEDIO CORROSIVO	P O R C E N T A J E				
	C	C ₁₁	C ₁₂	M ₁₁	M ₁₂
MgSO ₄	27,6	24,0	25,3	13,7	14,3
NaSO ₄	11,1	9,0	10,0	2,13	3,51
A. M.	19,0	16,8	18,51	11,6	12,8

TABLA XXVI PORCENTAJE DE DISMINUCION DE RESISTENCIA FRENTE A MEDIOS CORROSIVOS.

C = Cemento

$$C_{11} = 15\% C_1 + 85\% C$$

$$C_{12} = 20\% C_1 + 80\% C$$

$$M_{11} = 15\% M_1 + 85\% C$$

$$M_{13} = 25\% M_1 + 75\% C$$

CAPITULO V

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Con los resultados de las diferentes pruebas podemos hacer el siguiente análisis:

- Las composiciones químicas de las dos muestras están enmarcados dentro de los límites que establece el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN).
- La composición química de las dos muestras difieren muy poco, pero la muestra que presenta mejores perspectivas es la de Montecristi.
- La muestra de Colonche tiene mayor porcentaje de Fe O (2,5%) que la muestra de Montecristi (1,8%).
- Las dos muestras presentan un contenido de óxido de calcio muy bajo; 2,80% para la muestra de Montecristi y 1,90% para la de Colonche.
- Las dos muestras presentan un buen porcentaje de sílice aunque la muestra de Montecristi es ligeramente más alta.
- Las propiedades físicas de las dos muestras están den-

tro de lo que el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN) estipula.

- En el ensayo del índice de actividad, método de la cal, la muestra de Montecristi cumple con la norma establecida, no así la muestra de Colonche.
- Los resultados del índice de actividad, método del cemento, la muestra de Montecristi arrojó resultados positivos, la muestra de Colonche no cumple con lo mínimo requerido.
- En el método del índice hidráulico, para establecer el índice de actividad de las muestras, tanto la muestra de Colonche como la de Montecristi se enmarcan dentro de las especificaciones requeridas.
- Las resistencias a la compresión de la muestra de Colonche, diferentes porcentajes de muestras mezcladas con el cemento, son muy bajas a edad temprana (3 días), mejorando bastante a mayores edades (7 y 28 días).
- Las mezclas (cemento-puzolana) con menor porcentaje de puzolana de Colonche, 15% y 20%, presentan buenos resultados de resistencias a la compresión a los 28 días de edad.

- Las resistencias a la compresión de la muestra de Montecristi, diferentes porcentajes de muestra mezcladas con el cemento, son bajas a edades tempranas (3 días), mejorando mucho a mayores edades (28 días).
- Sólo la mezcla (cemento-puzolana) con el 20% de puzolana de Montecristi presenta baja resistencia a la compresión a 28 días de edad, las demás presentan muy buenas resistencias.
- Las mejores resistencias a 28 días son: C_{11} (15% de puzolana de Colonche + 85% de cemento portland) con puzolana de Colonche + 80% de cemento portland) con un 82,3% de la resistencia del cemento; M_{11} (15% de puzolana de Montecristi + 85% de cemento portland) con un 83,4% de la resistencia del cemento; M_{13} (25% de puzolana de Montecristi + 75% de cemento portland) con un 76,4% de la resistencia del cemento.
- Las cuatro mezclas (cemento-puzolana); C_{11} , C_{12} , M_{11} y M_{13} con porcentajes de 15%, 20%, 15% y 25% respectivamente de puzolana; presentan una muy buena resistencia a los medios corrosivos.

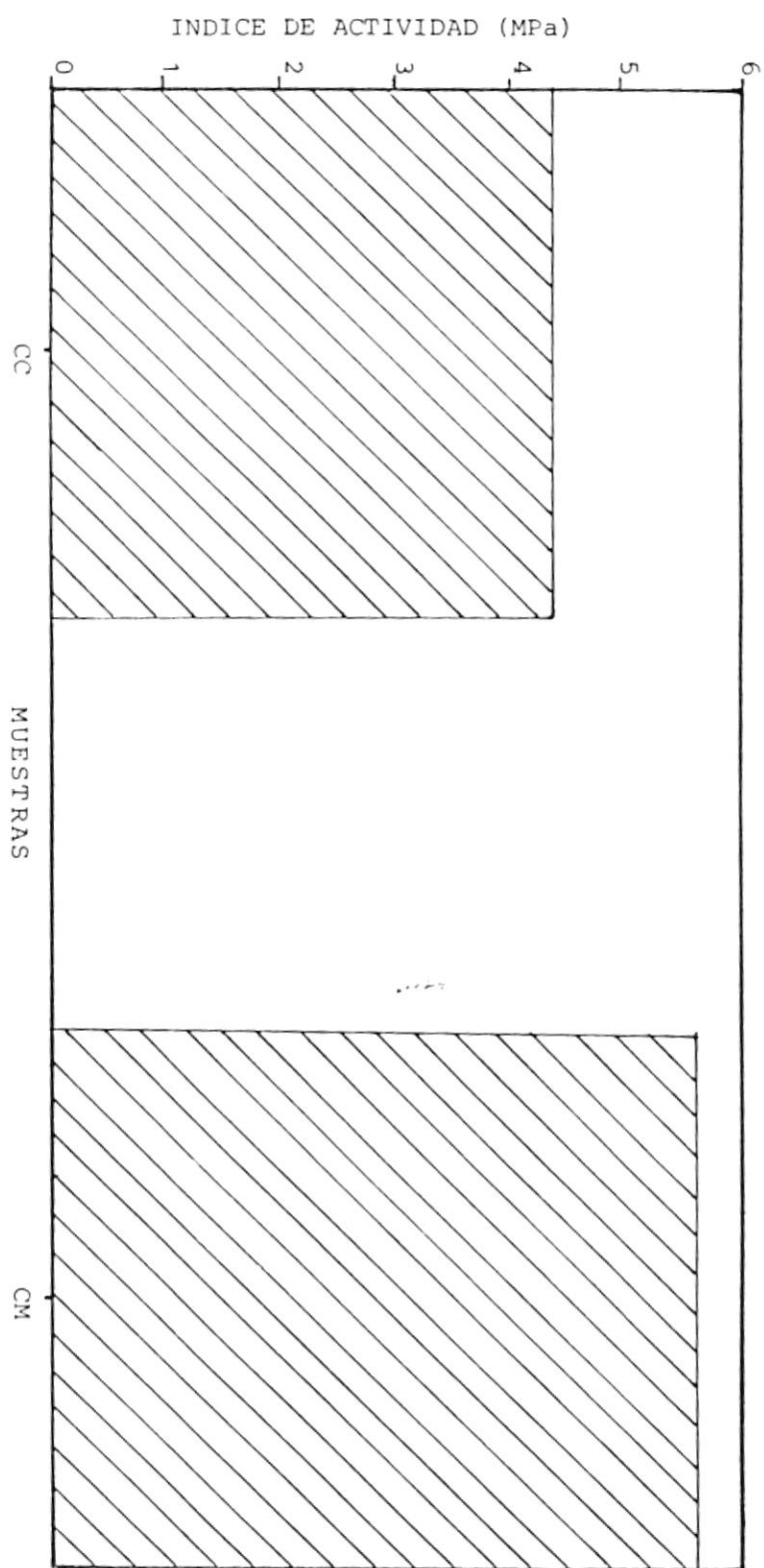


Fig. N° 1 INDICE DE ACTIVIDAD METODO DE LA CAL

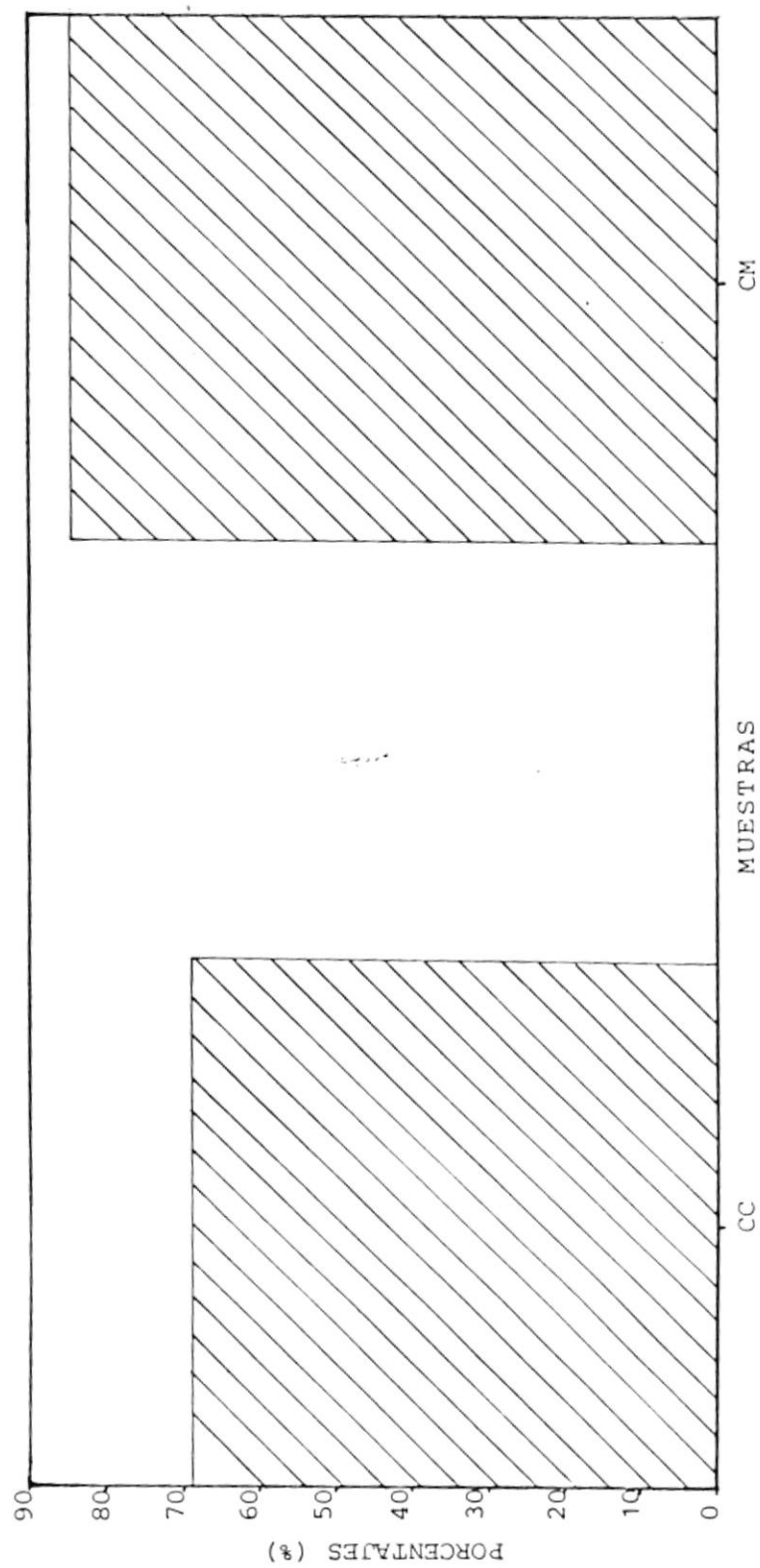


Fig. N° 2 INDICE DE ACTIVIDAD METODO DEL CEMENTO

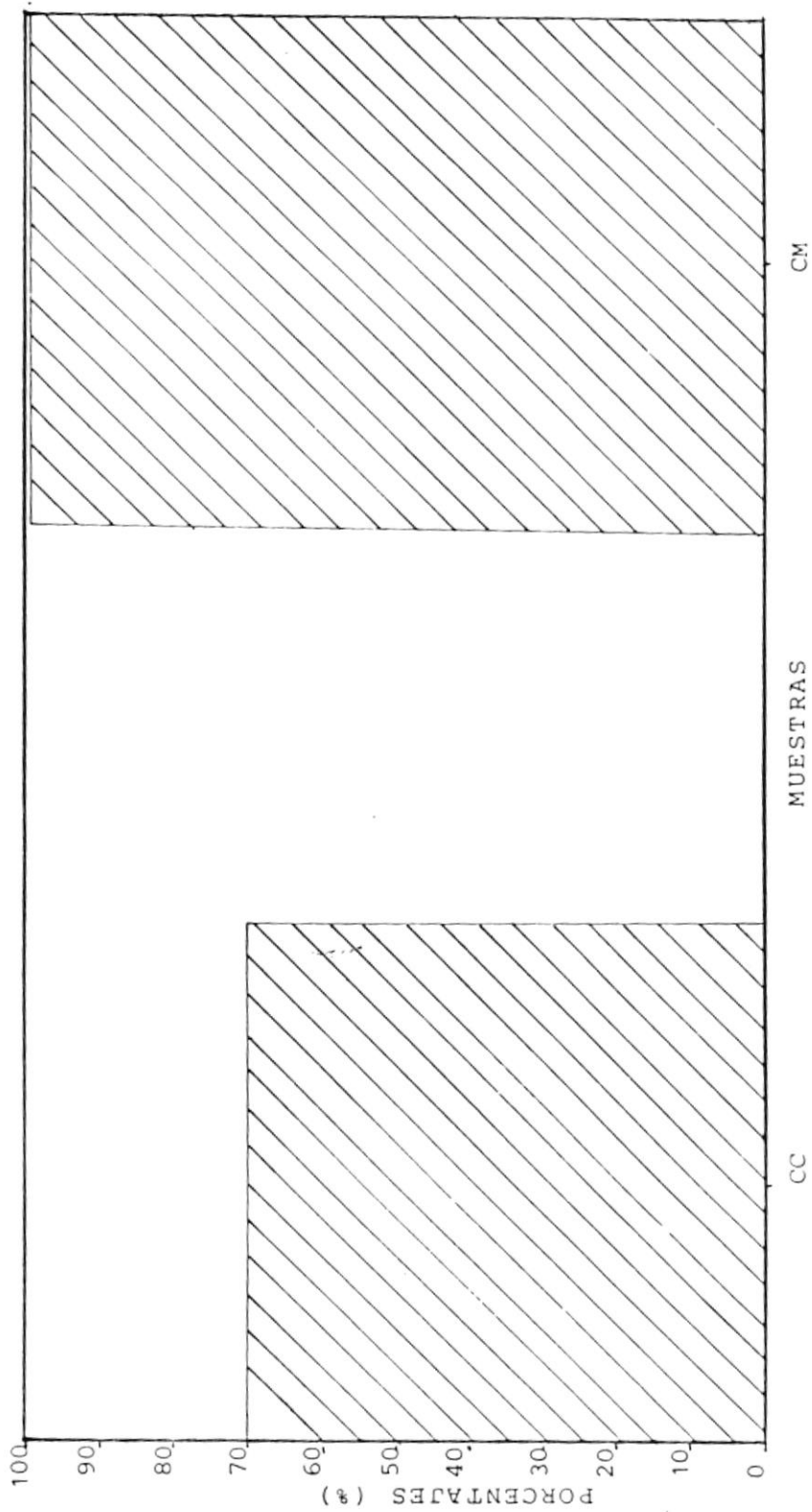


Fig. N° 3 INDICE DE ACTIVIDAD METODO DEL INDICE HIDRAULICO

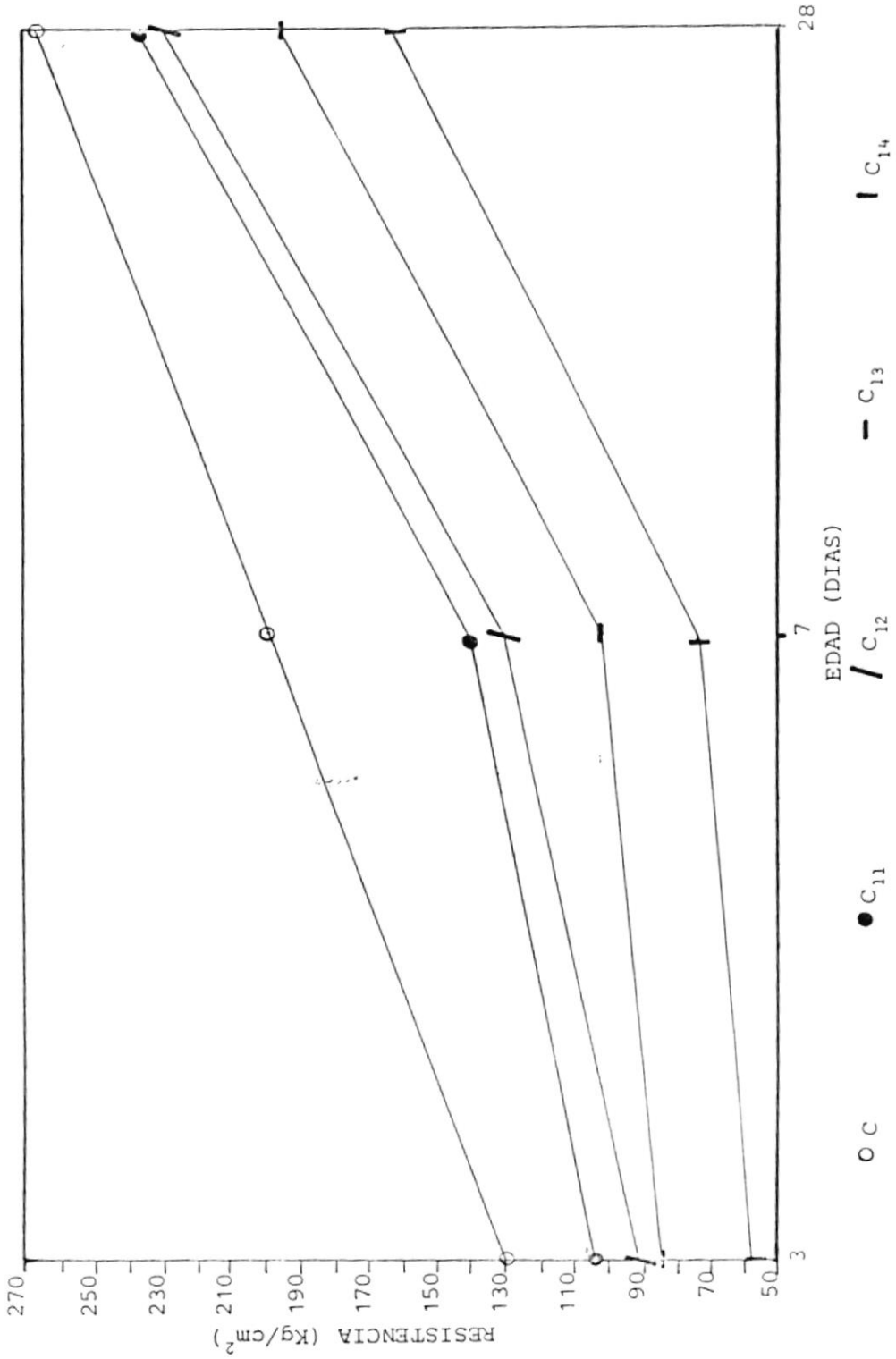


Fig. N° 4 RESISTENCIA A LA COMPRESION (MUESTRA DE COLONCHE)

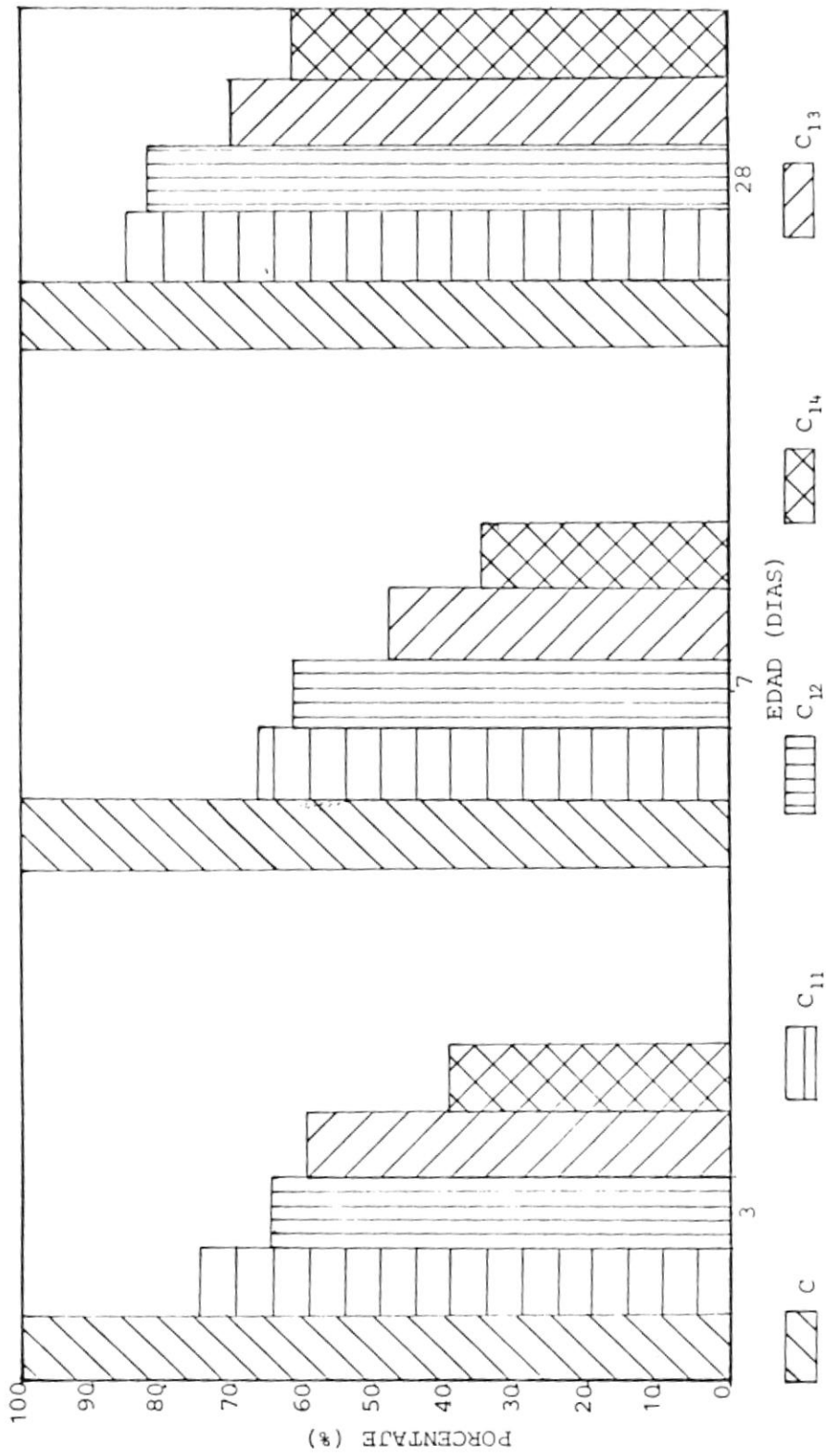


Fig. N° 5 PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (MUESTRA DE COLONCHE)

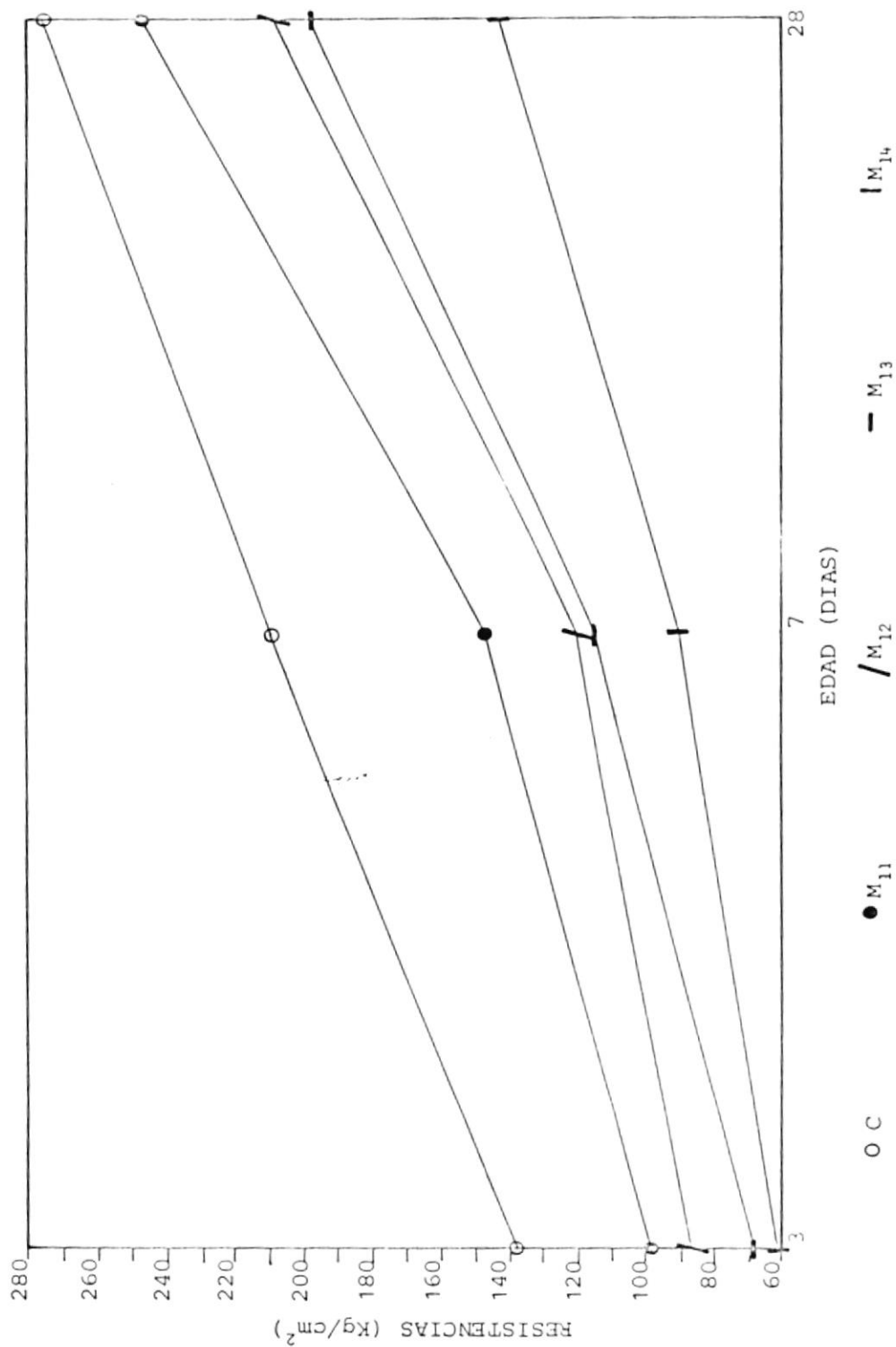


Fig. N° 6 RESISTENCIA A LA COMPRESION (MUESTRA DE MONTECRISTI)

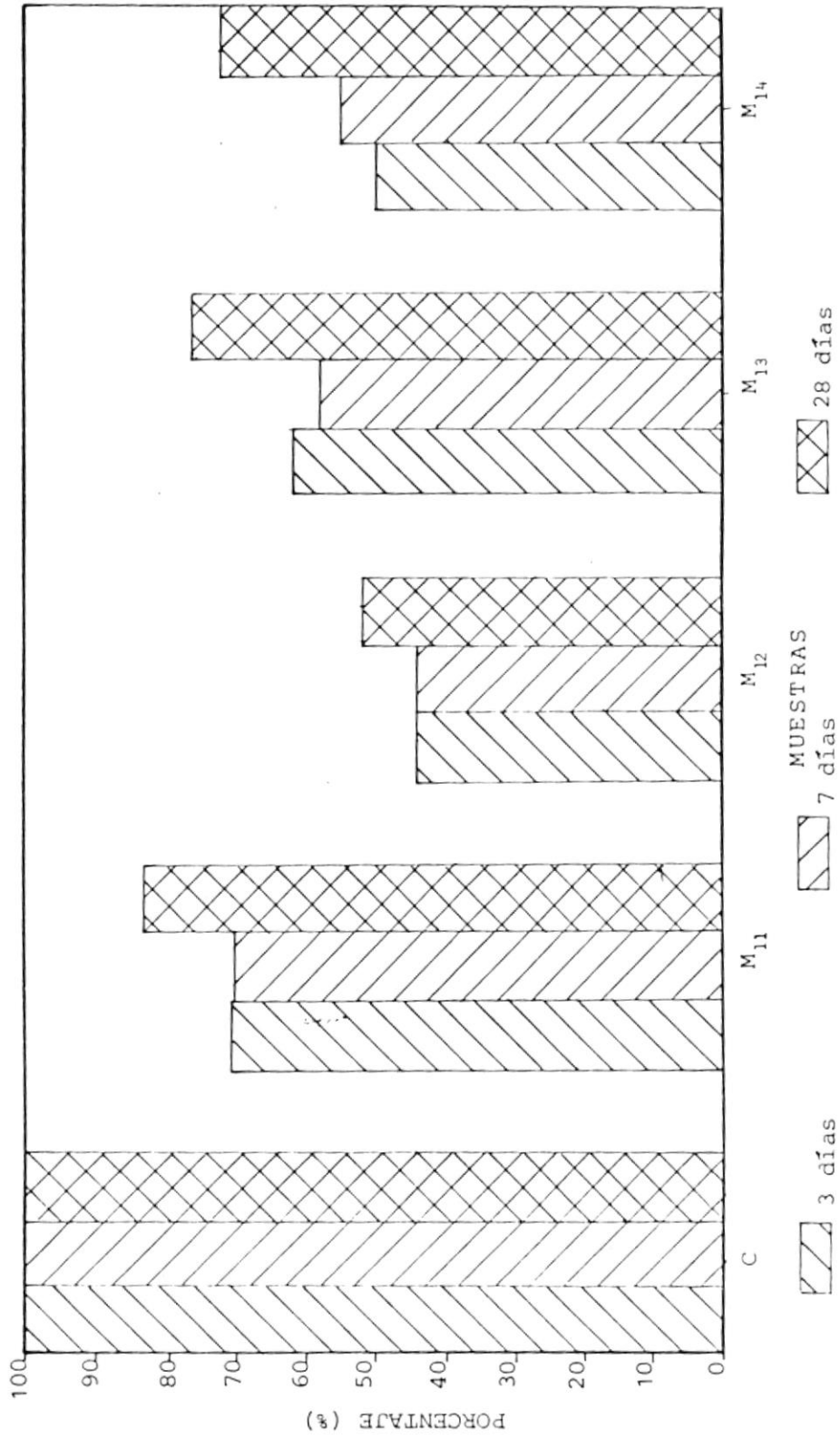


Fig. N° 7 PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (MUESTRA DE MONTECRISTI)

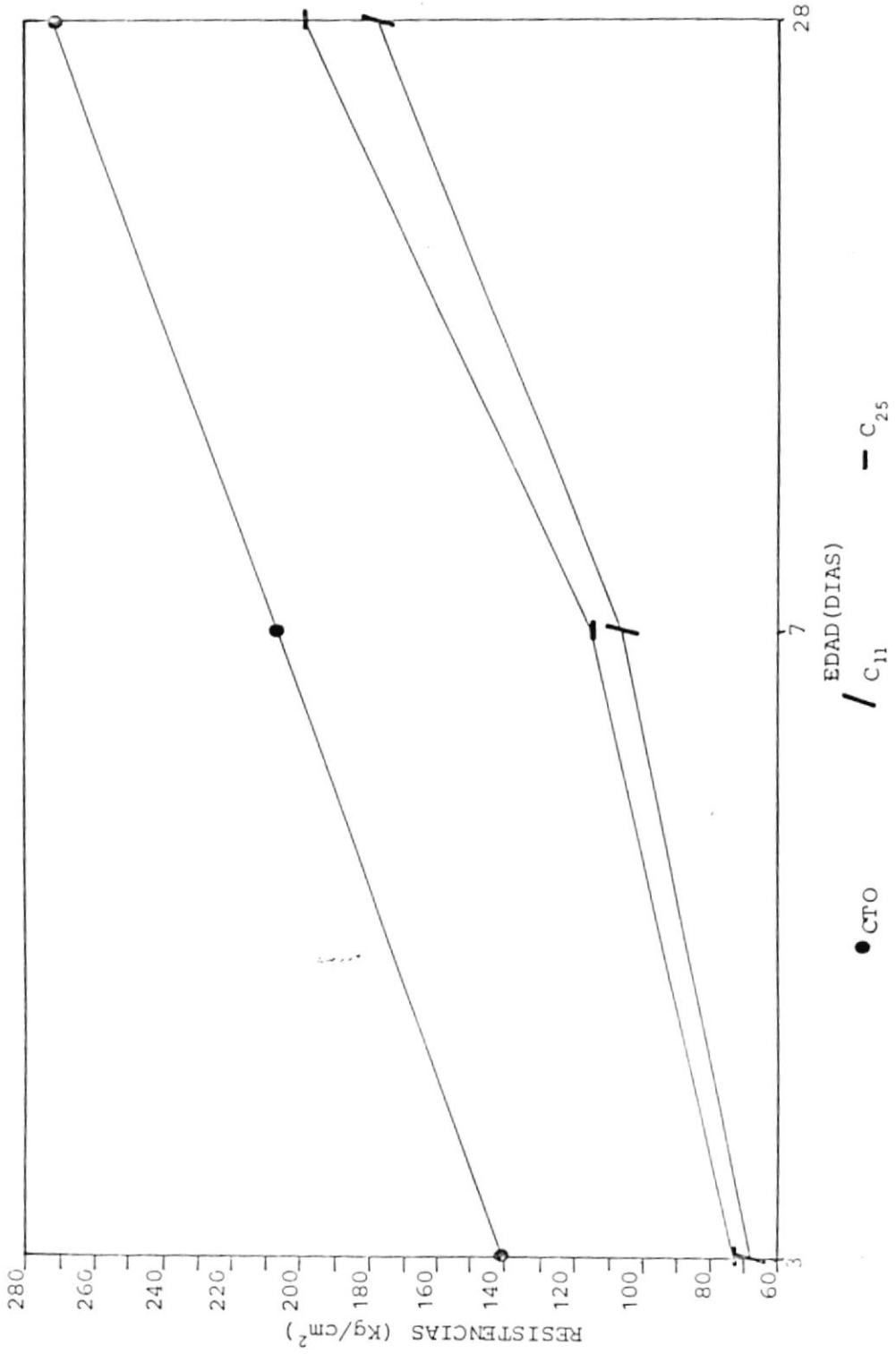
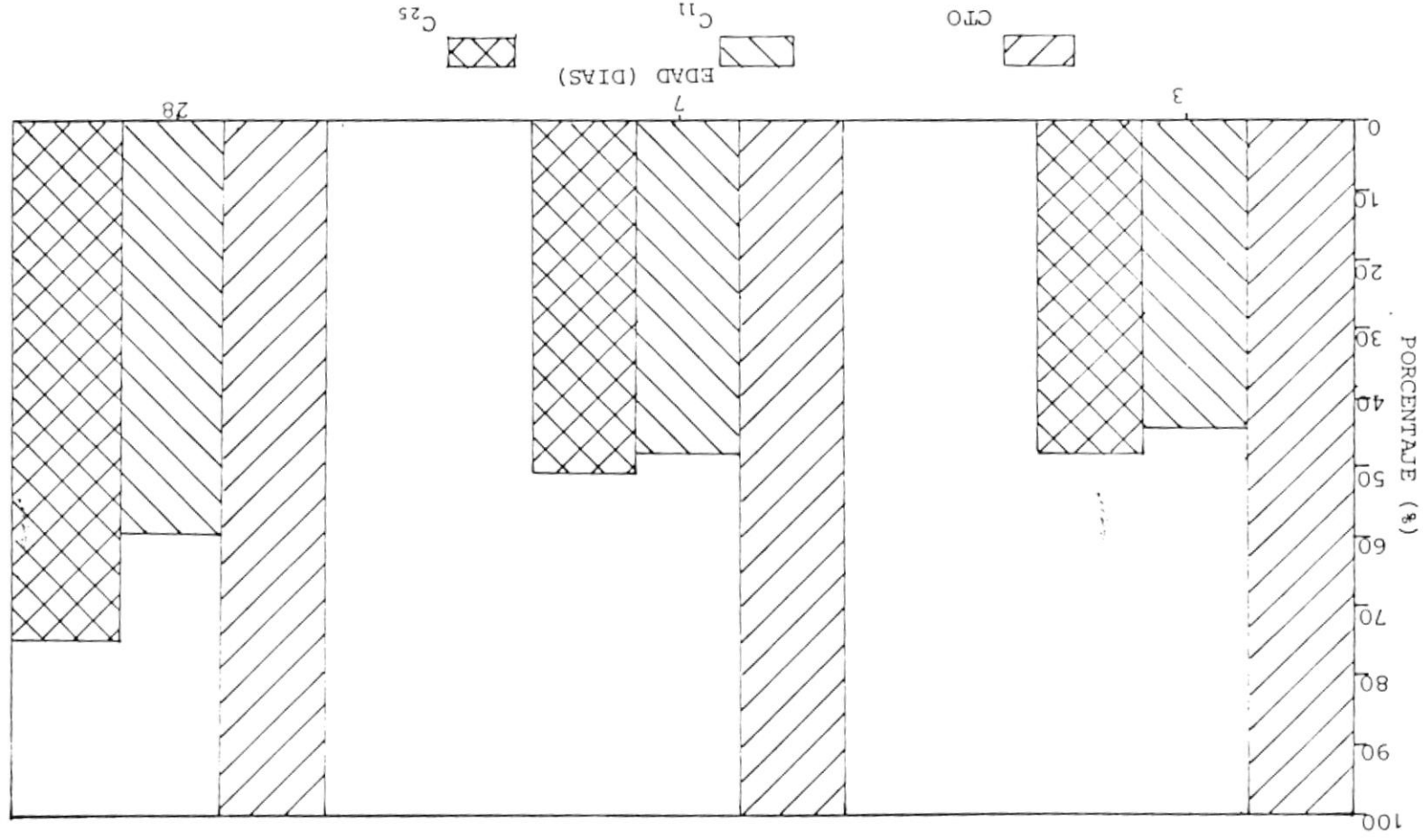


Fig. N° 8 RESISTENCIA A LA COMPRESION (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE COLONCHE)

Fig. № 9 PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO AL CEMENTO (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE COLONGHE)



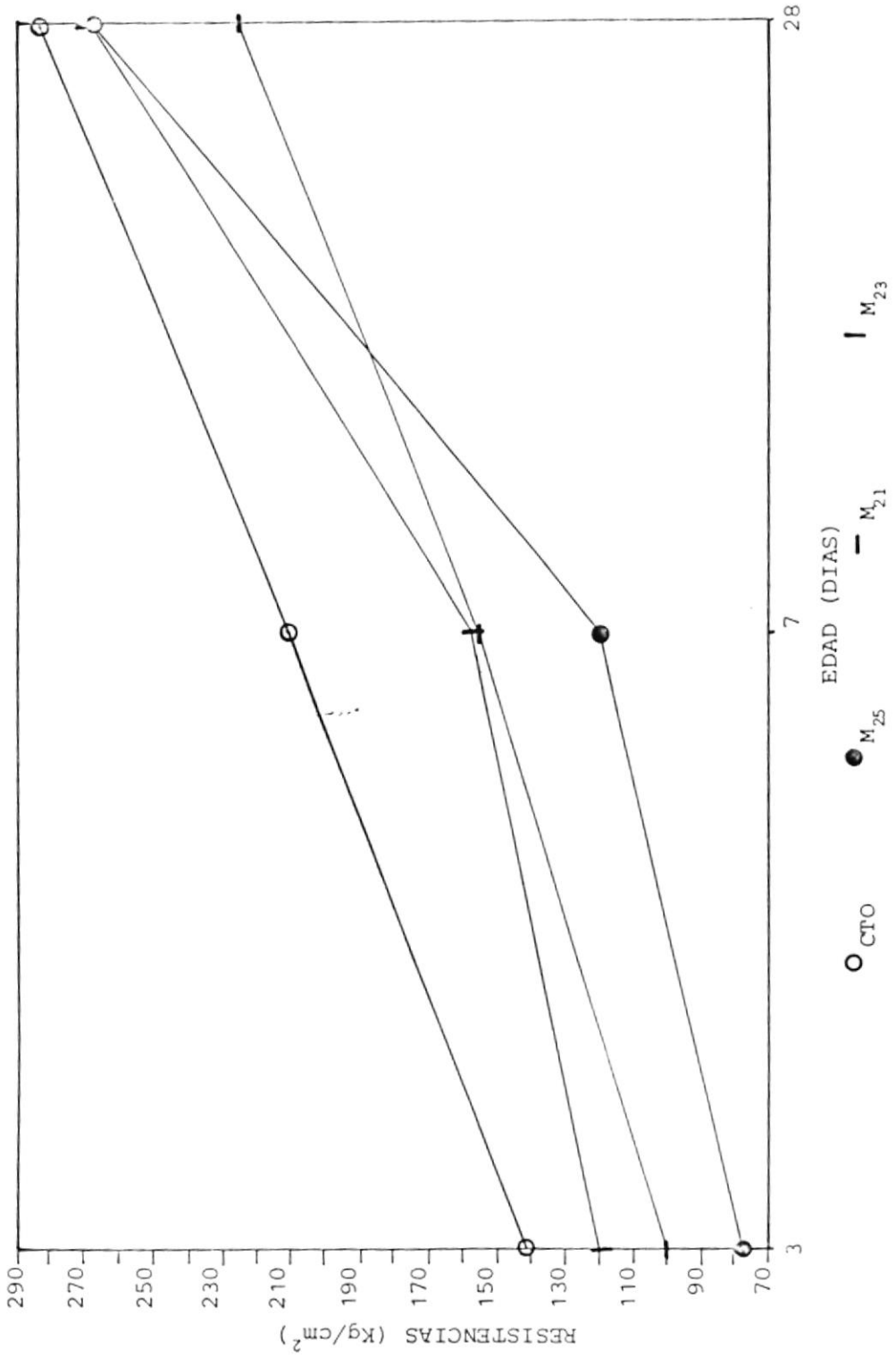


Fig. N° 10 RESISTENCIA A LA COMPRESION (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE MONTECRISTI)

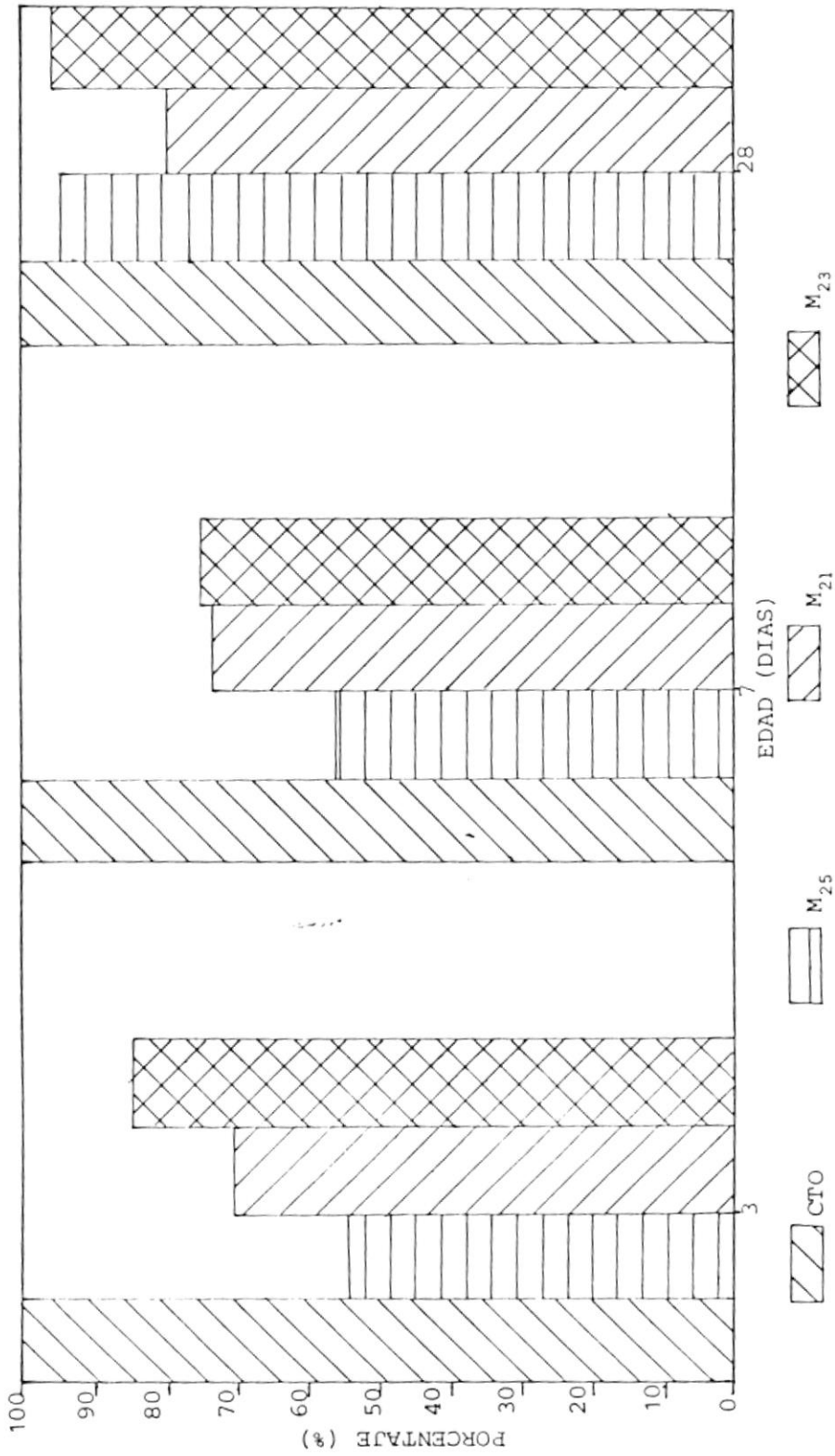


Fig. N° 11 PORCENTAJE DE RESISTENCIA CON RESPECTO AL CEMENTO (PRUEBAS ADICIONALES, MUESTRA DE MONTECRISTI)

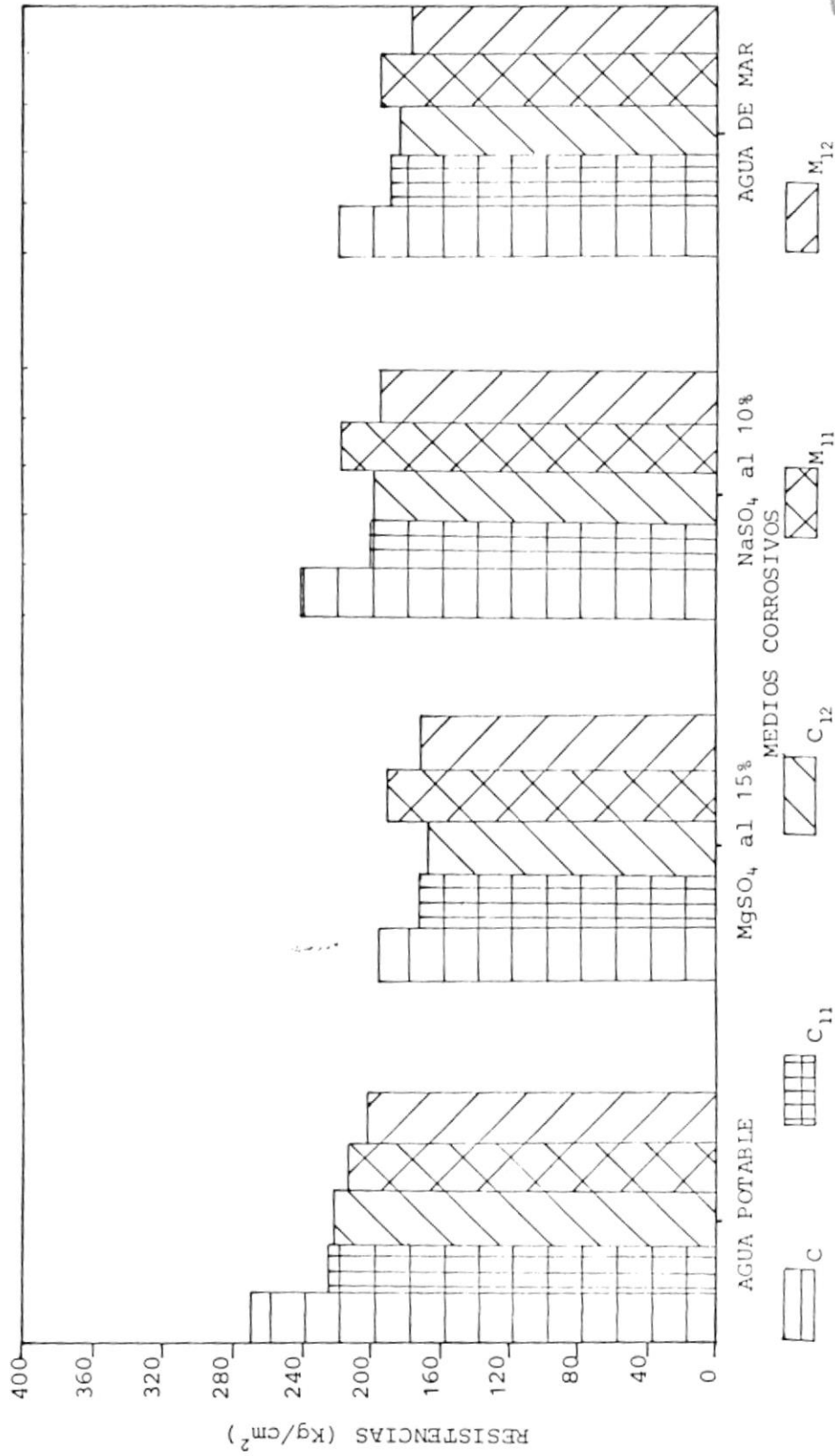


Fig. N° 12 RESISTENCIA A LA COMPRESION FRENTE A MEDIOS CORROSIVOS

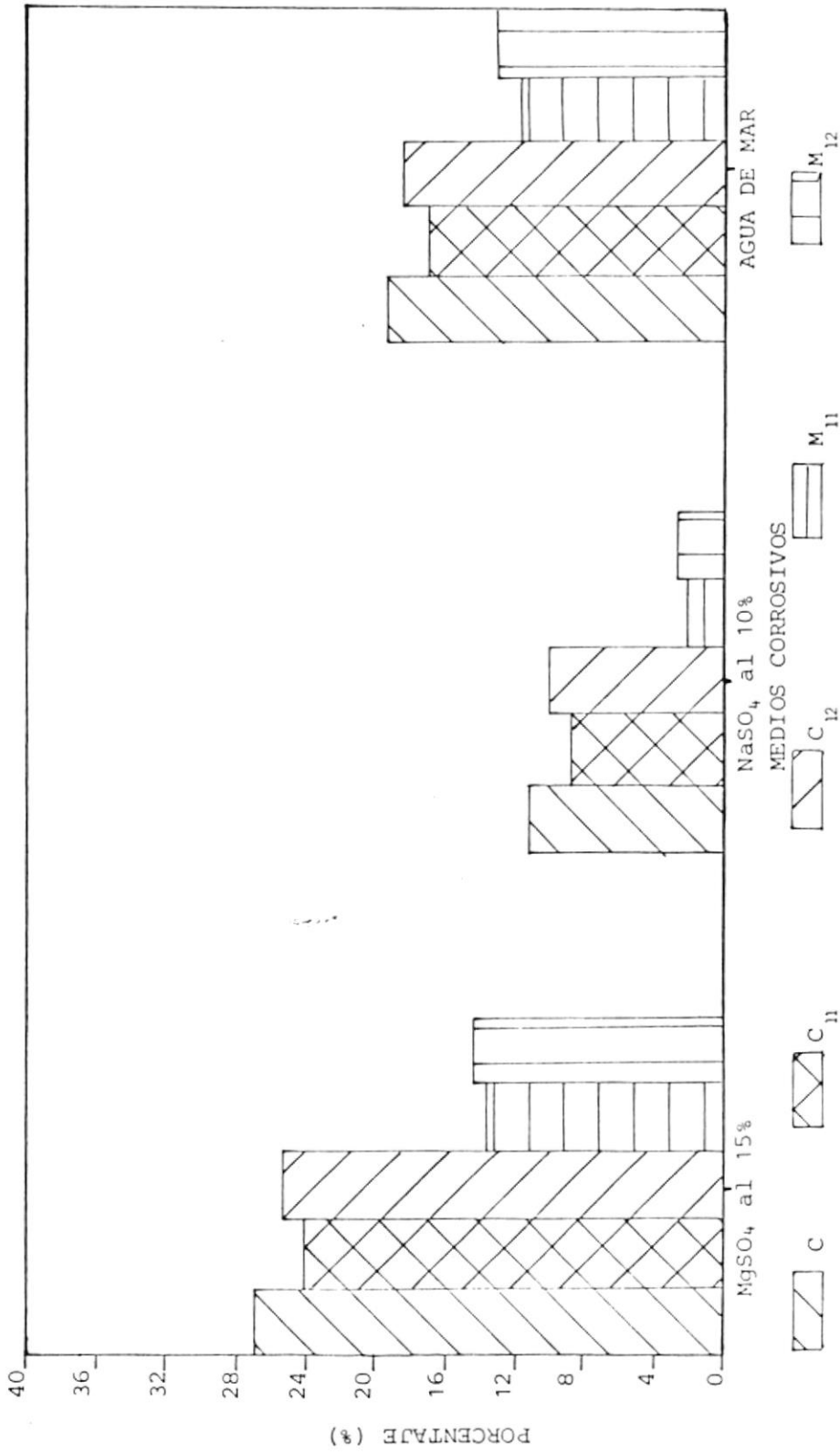


Fig. N° 13 PORCENTAJE DE DISMINUCION DE LA RESISTENCIA FRENTE A MEDIOS CORROSIVOS.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De las dos muestras (Montecristi y Colonche), la única que cumple con todos los requerimientos del INEN es la de Montecristi.
- No toda la sílice presente en las diferentes muestras reaccionaron en los diferentes ensayos.
- La sílice presente en la muestra de Colonche se la podría activar artificialmente con la aplicación de temperatura para que cumpla con los requerimientos de la norma.
- La muestra de Montecristi se la puede mejorar mucho con la aplicación de temperatura para activar la sílice que no reaccionó en los ensayos realizados.
- En los resultados de resistencia a la compresión (pruebas adicionales), las dos muestras presentan mejorías especialmente la muestra de Montecristi, esto es debido a que estos ensayos se realizaron aplicándoles previamente temperatura a las dos muestras, con el objeto de tratar que toda la sílice presente en las dos muestras reaccionen completamente.

- Los resultados de resistencia a la compresión de la muestra de Colonche es prácticamente debida sólo al cemento ya que muy poca sílice de esta muestra reacciona con el cemento.
- Los resultados de resistencia a la compresión de la muestra de Montecristi se deben a la reacción de la mayor parte de sílice presente en la muestra y del cemento.
- Las resistencias a la compresión de las dos muestras no decrecen mucho frente a los medios corrosivos, podemos decir que en su mayoría casi se mantienen en sus resistencias cuando están frente al agua potable.
- El sulfato de magnesio ($MgSO_4$) al 15% es el que más ataca, registrándose un decremento en las resistencias de: 27,6% para el cemento solo y para las muestras entre un 24% y un 14,3%.
- El sulfato de sodio ($NaSO_4$) al 10% es el que menos daño causa obteniéndose una disminución de las resistencias de : 11,1% para el cemento solo y para las muestras van desde un 10% a 2,13% de disminución de resistencia a la compresión.

- La muestra que mejores resultados presenta frente a los medios corrosivos es la M (15% de puzolana de Montecristi + 85% de cemento).
- En todos los ensayos de fraguado que se hicieron a la mezcla (cemento-puzolana) de las dos muestras se encontró que el tiempo si bien es cierto está dentro de lo que estipula el "INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION" (INEN) es muy alto, es decir que la mezcla se endurece en mucho mayor tiempo que el cemento portland solo.
- La razón principal para que se obtengan resistencias muy bajas a edades tempranas de las mezclas (cemento-puzolana) de las dos muestras es debido a que éstas se tardan mucho más en fraguar que el cemento.
- Además por sus mismas características, las muestras requieren de un poco más de agua para obtener la consistencia normal.
- La muestra de Montecristi se puede utilizar como aditivo mineral (puzolana) sin tratamiento térmico puesto que sus características tanto físicas como químicas y sus índices de actividad cumplen con lo establecido en las normas que emite el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMA

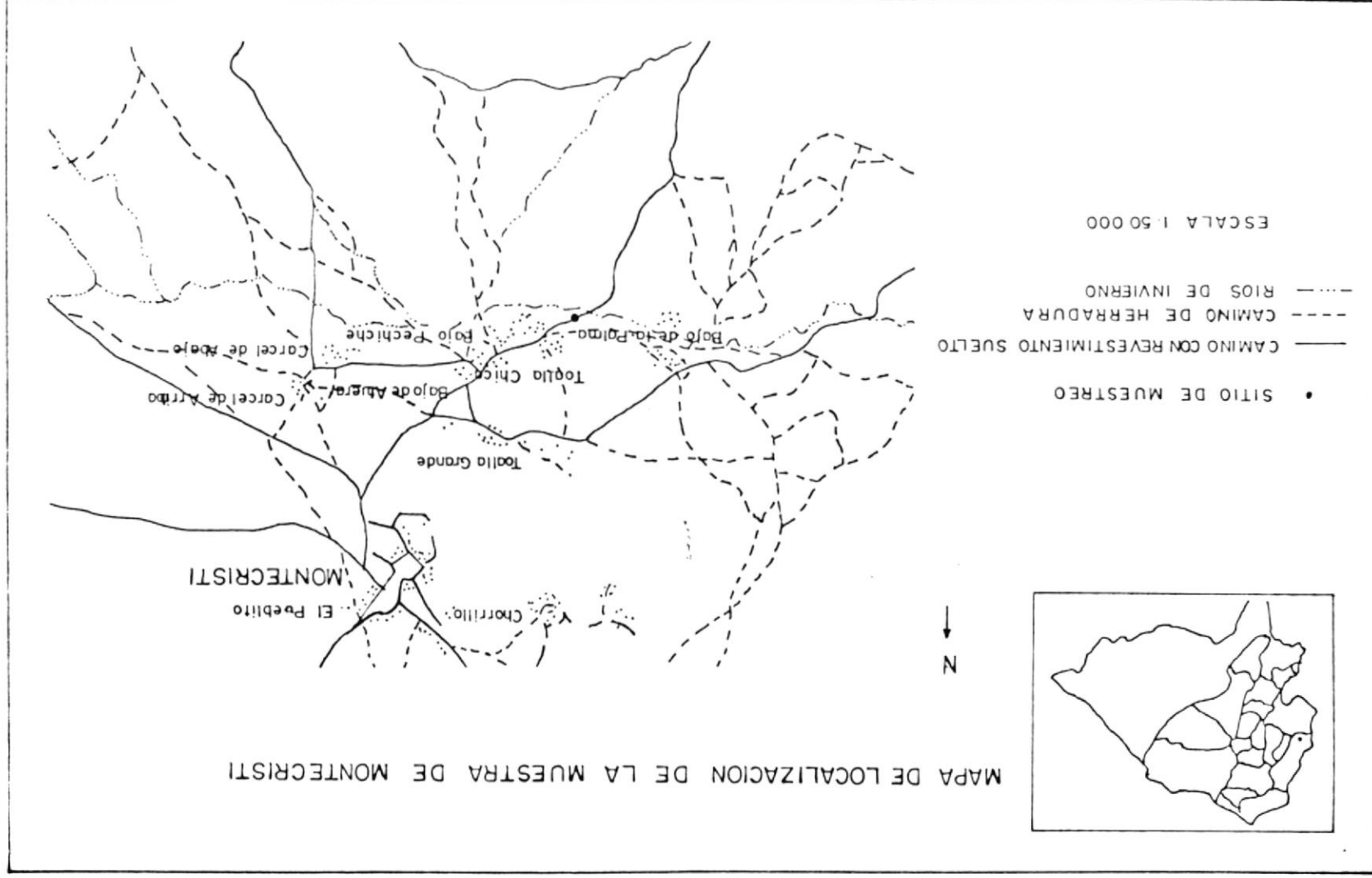
LIZACION (INEN).

- La muestra de Colonche también puede ser usada como aditivo mineral para el cemento, haciendo un tratamiento térmico previo, puesto que las pruebas adicionales demuestran que al aplicarle altas temperaturas a las muestras éstas aumentan bastante su resistencia a la compresión, y además también tiene muy poco decremento de resistencia a la compresión frente a los medios corrosivos.
- Se recomienda hacer un estudio de la cantidad de material existente en las zonas de estudio con miras a su explotación.
- Estos materiales una vez mezclados con el cemento no deben almacenarse por mucho tiempo puesto que tienen gran facilidad (cuando están finamente molidos) de absorber humedad y esto permitiría que el cemento se dañara formándose grumos.
- No es recomendable usar esta clase de cemento (puzolánico) para obras que requieren de un fraguado rápido.
- Por su finura es recomendable usar en hormigones que requieren de materiales finos.

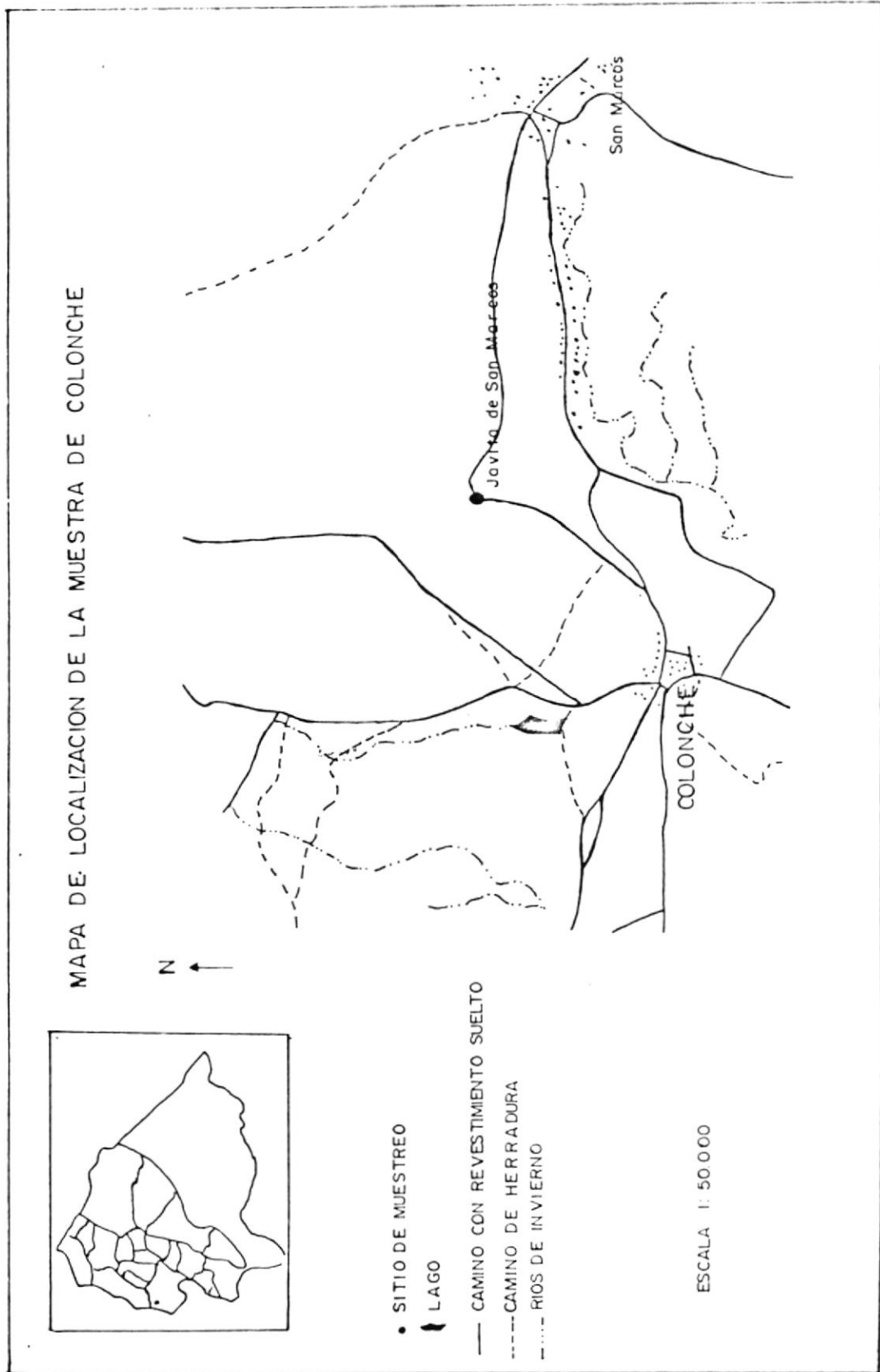
- Por ser materiales muy finos permiten que se use en obras que requieren impermeabilización.

A N E X O S

ANEXO A



ANEXO B



	SiO ₂	TiO ₂	AlO ₃ ³ /2	FeO ³ /2	FeO	MgO	CaO	NaO ¹ /2	KO ¹ /2	PO ⁵ /2	SO ₃	TOTAL
A(%) del análisis	60	2	9.8	1.8	3	7.9	2.8	4	3.54	0.5	2.3	97.64
B Equivalente molecular	60	80	51	80	72	40	56	31	47	71	86	
A/B.1000 (%) de cationes	1000	25	192.2	22.5	41.7	197.5	50	129	75.3	7	26.7	1766.9
(%) catión	56.6	1.42	10.88	1.27	2.36	11.2	2.83	7.3	4.26	0.39	1.51	100.02
Apatita (P ₂ O ₅ 3CaO)							0.65			0.39		P.N.
Ilmenita (TiO ₂ FeO)		1.42			1.42							1.04
Ortoclasa (K ₂ Al ₂ O ₃ 6SiO ₂)	12.78		4.26									2.84
Albita (Na ₂ OAl ₂ O ₃ 6SiO ₂)	19.86		6.62					6.62				21.3
Acmita (Na ₂ OFe ₂ O ₃ 4SiO ₂)	1.36			0.68				0.68				33.1
Magnetita (Fe ₂ O ₃ FeO)				0.59	0.295							2.72
Wollanstonita (CaSiO ₂)	2.18						2.18					0.885
Enstatita (MgOSiO ₂)	11.2					11.2						4.36
Ferroselita (FeOSiO ₂)	0.65				0.65							22.4
Cuarzo (SiO ₂)	8.57											1.3
												8.57

SALICOS

Or = 21.3
 Ab = 33.1
 Q = 8.57

 62.97

FEMICOS

Ap = 1.04
 Il = 2.84
 AC = 2.72
 Mt = 0.885
 Wo = 4.36
 En = 22.4
 Fs = 1.3

 35.545

	SiO ₂	TiO ₂	AlO ₃ /2	FeO ³ /2	FeO	MgO	CaO	NaO ¹ /2	KO ¹ /2	PO ⁵ /2	SO ₃	TOTAL
A(%) del análisis	56.4	1.8	9.1	2.5	3.8	7.2	1.9	4.6	2.54	1	1.14	91.98
B Equivalente molecular	60	80	51	80	72	40	56	31	47	71	86	
A/B 1000 (%) de cationes	940	22.5	178.4	31.5	52.78	180	33.93	148.4	54	14.1	13.26	1668.6
(%) catión	56.3	1.35	10.7	1.87	3.2	10.8	2.03	8.89	3.24	0.85	0.79	100.02
Apatita (P ₂ O ₃ 3CaO)							1.42			0.85		P.N.
Ilmenita (TiO ₂ Fe)		1.35			1.35							2.27
Ortoclasa (K ₂ Al ₂ O ₃ 6SiO ₂)	9.72											2.27
Albita (Na ₂ OAl ₂ O ₃ 6 SiO ₂)	22.38		3.24						3.24			16.2
Acmita (Na ₂ OFe ₂ O ₃ 4SiO ₂)	2.86		7.46					7.46				3.73
Magnetita (Fe ₂ O ₃ FeO)				1.43				1.43				5.76
Wollanstonita (CaSiO ₂)	0.61			0.44	0.22		0.61					0.66
Enstatita (MgOSiO ₂)	10.8					10.8						1.22
Ferroselita (FeOSiO ₂)	1.63				1.63							21.6
Cuarzo (SiO ₂)	11.16											3.26
												11.16

SALICOS

Or = 16.2
 Ab = 37.3
 Q = 11.16
 65.66

FEMICOS

Ap = 2.27
 Il = 2.7
 AC = 5.72
 Mt = 0.66
 Wo = 1.22
 En = 21.6
 Fs = 3.26
 34.57

BIBLIOGRAFIA

1. Gorchakov, G. I., Materiales de Construcción (Moscú : MIR, 1984), pp. 113-166.
2. Núñez del Arco, E. y Dugas, F., Guía Geológica del Sur Oeste de la Costa Ecuatoriana (Guayaquil : ESPOL, 1986), pp. 20-37.
3. Lara, S. A. y Mendoza, R. C., Clasificación Química de las Rocas (Cálculos de la Norma) Descripción y obtención, Geomimet # 132 (Nov.-Dic., 1984), pp. 29-43.
4. Cemento : Determinación de finura por tamizado seco, INEN 489 (Quito, 1980).
5. Cemento : Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros, INEN 198 (Quito, 1980).
6. Cemento : Determinación de la superficie específica, Método Blaine, INEN 196 (Quito, 1980).
7. Cemento : Determinación del tiempo de fraguado. Método Vicat, INEN 158 (Quito, 1980).

8. Cemento Puzolánico : Requisitos, INEN 490 (Quito, 1980).
9. Puzolanas: Definiciones y clasificación, INEN 491 (Quito, 1980).
10. Puzolanas : Muestreo, INEN 492 (Quito, 1980).
11. Puzolanas : Determinación del índice de actividad puzolánica, método de la cal, INEN 495 (Quito, 1980).
12. Puzolanas: Determinación del índice de actividad puzolánica, método del cemento, INEN 496 (Quito, 1980).

