



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS MAGISTER EN GEOLOGÍA

**“UTILIZACIÓN DE AGREGADOS CALCÁREOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA
PARA EL DESARROLLO DE HORMIGONES CON CEMENTO PORTLAND BLANCO”**

LIC. NORBERTO MARIO MANGIN

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2009



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS MAGISTER EN GEOLOGÍA

**“UTILIZACIÓN DE AGREGADOS CALCÁREOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA
PARA EL DESARROLLO DE HORMIGONES CON CEMENTO PORTLAND BLANCO”**

LIC. NORBERTO MARIO MANGIN

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2009

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magister en Geología, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en la cátedra de Geoquímica, dependiente del Departamento de Geología durante el período comprendido entre el 12 de diciembre de 2000 y el 10 de noviembre de 2009, bajo la dirección del Dr. Pedro José Maiza (Profesor Consulto del Dpto. de Geología de la UNS – Investigador Principal del CONICET-INGEOSUR) y la Co-dirección de la Dra. Silvina Andrea Marfil Profesora Asociada del Dpto. de Geología de la UNS – Investigador Independiente de la CIC de la Prov. de Bs. As. – INGEOSUR.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis Directores Prof. Extraord. Dr. Pedro Maiza, y Prof. Ord. Dra. Silvina Marfil por su tenacidad en el desarrollo del presente trabajo. En recuerdo de mi amigo Dr. José Luis Mestre, fundador de la empresa CEMENTO CERRO BLANCO S.A. Y a la colaboración de las empresas CEMENTO CERRO BLANCO S.A., CANTERAS SAN AGUSTIN S.A., HORMIBLOCK S.A.

10 de Noviembre de 2009



Departamento de Geología

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

INDICE

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN | 8 |
| 1 Introducción | 10 |
| 2 Objetivo | 24 |
| 3 Materiales | 25 |
| 3.1 Geología | 25 |
| 3.2 Canteras y Yacimientos de las Sierras de Córdoba relevados | 30 |
| 3.2.1 Calizas del Cordón Oriental de las Sierras de Córdoba | 30 |
| 3.2.1.1 Yacimiento El Carapé, La Cumbre | 36 |
| 3.2.1.2 Canteras Amadeo S.R.L. | 31 |
| 3.2.1.3 Canteras de Calizas de Unquillo | 31 |
| 3.2.1.4 Canteras Dumesnil | 31 |
| 3.2.1.5 Canteras cercanas a La Calera | 31 |
| 3.2.1.6 Canteras de Cosquín a Bialet Massé | 31 |
| 3.2.1.7 Yacimientos de Falda del Carmen-Lagunilla | 31 |
| 3.2.1.8 Canteras en Bosque Alegre | 32 |
| 3.2.1.9 Alta Gracia a Valle de Buena Esperanza-Los Paredones | 32 |
| 3.2.1.10 Canteras San Agustín | 32 |
| 3.2.2 Calizas del Cordón Central de las Sierras de Córdoba | 33 |
| 3.2.2.1 Yacimientos en la Pampa de Olaen | 33 |
| 3.2.2.2 Canteras de Valle Hermoso | 33 |
| 3.2.2.3 Canteras en Deán Funes | 33 |
| 3.2.2.4 Cantera Las Lajas | 33 |
| 3.2.2.5 Canteras Quilpo | 33 |
| 3.2.2.6 Yacimientos al oeste de La Cumbre | 33 |
| 3.2.2.7 Distrito Calizo Los Gigantes | 34 |
| 3.2.2.8 Canteras en Achiras | 34 |

| | |
|--|----|
| 3.2.3 Calizas del Cordón Occidental de las Sierras de Córdoba | 34 |
| 4 Canteras seleccionadas | 36 |
| 4.1 Canteras Amadeo S.R.L. (ex Canteras El Sauce) | 36 |
| 4.1.1 Cantera Grande | 39 |
| 4.1.2 Cantera Cerro Negro | 39 |
| 4.1.3 Cantera Columna | 40 |
| 4.2 Canteras Dumesnil S.A. | 40 |
| 4.2.1 Cantera Minera Martín | 42 |
| 4.2.2 Cantera El Congreso | 42 |
| 4.2.3 Canteras de Brizuela | 42 |
| 4.3 Canteras de Molienda Alta Gracia - Estancia El Paraíso | 43 |
| 4.3.1 Cantera La Quebrada | 44 |
| 4.3.2 Cantera El Aguaribay | 44 |
| 4.3.3 Canteras de Molienda VERDOL S.A.-Estancia Bosque Alegre | 45 |
| 4.4 Canteras San Agustín S.A. y Blancaley S.R.L. | 46 |
| 4.4.1 Canteras San Agustín S.A. | 48 |
| 4.4.2 Blancaley S.R.L. | 49 |
| 4.5 Yacimientos de Quilpo, Cruz del Eje | 49 |
| 4.6 Yacimientos en Pampa de Olaen | 50 |
| 4.7 Yacimientos en Valle Hermoso | 51 |
| 5 Métodos de ensayo | 53 |
| 6 Resultados obtenidos | 55 |
| 6.1 Análisis comparativo de blancura de la roca | 55 |
| 6.2 Resistencia a la compresión simple de la roca, IRAM 10536 | 57 |
| 6.3 Determinación de la absorción de agua, Norma IRAM 1533 | 60 |
| 6.4 Ensayo de desgaste en la máquina de los Ángeles, IRAM 1532 | 61 |
| 6.5 Cálculo del Factor de Cubicidad, Norma IRAM 1681 | 62 |
| 6.6 Determinación de la pérdida por lavado sobre # 200, IRAM 1540 | 63 |

| | |
|--|-----------|
| 6.7 Análisis granulométricos, Norma IRAM 1505 | 64 |
| 6.8 Examen petrográfico de áridos para hormigones, IRAM 1649 | 66 |
| 6.9 Características del cemento blanco, IRAM 50000/50001:2000 | 68 |
| 7 DOSIFICACIONES DE HORMIGON | 71 |
| 7.1 Dosificación para un hormigón H-17 | 71 |
| 7.2 Dosificación para un hormigón H-21 | 73 |
| 7.3 Dosificación para un hormigón H-35 | 74 |
| 8 DISCUSION DE LOS RESULTADOS | 76 |
| 9 CONCLUSIONES | 80 |
| 10 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 83 |
| 11 APENDICE | 86 |

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la posibilidad de aplicación de los agregados calcáreos de la provincia de Córdoba para hormigón elaborado con cemento blanco. Se analiza la factibilidad técnica y económica de los yacimientos y canteras de las calizas del Cordón Oriental, Cordón Central y Distrito Occidental de las Sierras de Córdoba.

Mediante los ensayos de caracterización realizados de acuerdo a las normas IRAM se analizan las propiedades de los agregados calcáreos blancos de las principales canteras.

Finalmente se selecciona el material de una de las plantas de agregados para realizar las dosificaciones con cemento portland blanco y verificar las propiedades del hormigón resultante.

Se comprueba que los agregados calcáreos de la provincia de Córdoba por su color, composición petrográfica y propiedades físicas son aptos para su utilización en el hormigón elaborado con cemento blanco.

ABSTRACT

This paper addresses the possibility of using limestone aggregates from Córdoba province, Argentina, in white concrete. The technical and economic feasibility of limestone deposits and quarries from the eastern, central and western ridge of Córdoba's mountains is analyzed.

Through characterization tests in accordance with IRAM standards, the properties of white limestone aggregates from the main quarries are analyzed.

Furthermore, the material from one of the aggregate plants is selected to be added to white portland cement and check the properties of the resulting concrete.

It is demonstrated that owing to their color, petrographic composition and physical properties, limestone aggregates from Córdoba province are suitable to be used in concrete made with white portland cement.

1 INTRODUCCIÓN

Mientras que el cemento portland gris fue patentado por Aspdin en el año 1824, recién en 1905 se descubre el cemento blanco. En el año 1907 se realiza la primer fabricación de cemento blanco en Pensilvania (www.cement.org), y en el año 1922 en España (Perales, 2008).

En Argentina el consumo de cemento gris en el año 2008 fue de 9.754.000 de toneladas (fuente <http://www.afcp.org.ar>), mientras que el consumo de cemento blanco fue de 31.800 toneladas; es decir representa un 0,3 % del cemento gris. Mientras que si se compara a nivel global, el cemento blanco representa menos del 1% de la producción de cemento gris.

El hormigón elaborado blanco es aquel fabricado con cemento portland blanco como ligante, junto con una mezcla de agregados normales de color blanco como mármoles o cuarcitas. También es conocido como hormigón arquitectónico por su aplicación en obras relevantes porque permite nuevos diseños respecto a los hormigones tradicionales con cemento gris (García San Martín, 1999; Benítez, 2002; Mangin, 2008). Al mismo tiempo con la adición de pigmentos inorgánicos se pueden hacer nuevos colores para el hormigón (López *et al.*, 2007).

Como se necesitan que los agregados gruesos y finos sean de color blanco, en la mayoría de los casos se emplean rocas carbonáticas, como mármoles, arenas calcáreas blancas bien graduadas, y granulados blancos. De esta forma se fabrican premoldeados de morteros y hormigones blancos; por ejemplo: bloques, tabiques, premoldeados arquitectónicos en general, columnas, balaustres, losetas para piletas, etc. En la Figura N°1 se aprecia la textura marterinada de un ejemplo de hormigón blanco con agregados de mármol.

Figura N° 1. Agregados gruesos expuestos en un hormigón blanco



En la primera mitad del siglo XX, el movimiento “arquitectura moderna” dominó la arquitectura, y alcanzó su época de máximo esplendor desde los años veinte hasta los cincuenta. Constituyen el clásico ejemplo de este estilo las casas de hormigón blanco de Le Corbusier, de la década de 1920, y los rascacielos de cristal de Mies van der Rohe de los años cuarenta y cincuenta (Mas *et al.*, 2008).

Figura N°2, Arq. Le Corbusier, 1916, en La Chaux-d e-Fonds.



Figura N°3, Arq. Ludwing van del Rohe, Edificio Se agram, 1954-1958, Nueva York



En nuestro país se encuentran aplicaciones en elementos de mobiliario urbanos realizados por el Arq. Francisco Salamone entre los años 1936 y 1940 en algunas ciudades de la provincia de Buenos Aires (Traversa L. *et al.*, 2008).

Figura N°4. Arq. Francisco Salomone, mobiliario urbano Plaza de Balcarce, prov. Bs. Aires



A partir de la segunda mitad del siglo XX es cuando el hormigón blanco se afianza como un material de uso generalizado en la arquitectura. En las figuras N° 5, 6, 7 y 8 se muestran algunos ejemplos de obras realizadas en hormigón blanco.

Figura N°5. Arq. Andrés Perea, Edificio Tres Cantos, Madrid, 1993. (Mas V. *et al* 2008)



Figura N°6. Arq. I. Vincens, Facultad de Periodismo, Pamplona, 1994. (Mas V. *et al* 2008).



Figura N°7. Arq. C. Ferrater. Congreso de Cataluña , Barcelona, 2000. (Mas V. et al/2008).



Figura N°8. Arq. C. Ferrater. Congreso de Cataluña , Barcelona, 2000. (Mas V. et al/2008).



El hormigón blanco alcanza un desarrollo progresivo en la arquitectura contemporánea, y en los últimos años se convirtió en un material emergente en la construcción de edificios públicos y privados, cuyo uso representa un elemento diferenciador en las obras. Garantiza elegancia, belleza, luminosidad, estética, resistencia a las abrasiones (sin restar funcionalidad) que son valores incuestionables en arquitectura. Arquitectos contemporáneos como Fisac, Ferrater, Vicens, Calatrava, continuamente presentan nuevos proyectos concebidos y construidos en hormigón blanco, que reinterpretan y evolucionan los mecanismos expresivos y conceptuales de los arquitectos que les precedieron (Mas V. *et al.*, 2008).

En España la empresa CEMEX (Cementos Mexicanos) desde el año 2000 colabora con las Universidades Politécnica de Valencia, Madrid, Barcelona, y Sevilla contando con un cuerpo docente interdisciplinario, integrado por profesores, especialistas nacionales, internacionales y profesionales de CEMEX, que comparten con los estudiantes más de 70 años de experiencia fabricando cemento blanco que tiene la compañía. Dentro de la Facultad de Arquitectura se creó la llamada Cátedra Blanca que promueve y desarrolla obras con aplicación del hormigón blanco.

Como ejemplos adicionales en las Figuras N° 9, 10, 11 y 12 se pueden ver construcciones desarrolladas en México en los últimos 10 años. La Figura N° 9 muestra la torre Dataflux construída en año 2001 en Monterrey, México donde se realizó una terminación superficial similar a un mármol marterinado cuyo detalle se puede ver en la Figura N°10.

Figura N°9. Torre Dataflux, Monterrey, México



Figura N°10. Textura marterinada del hormigón blanco. Torre Dataflux, Monterrey, México



Figura N°11. Paseo de los Duendes, 2000, Monterrey, México



Figura N°12. Complejo del Bosque, Torre Marco 1 y 2, 2000-2004, DF, México



En Argentina los cementos blancos que se fabricaban en el país (Córdoba y San Juan) no tenían una reconocida calidad y sus propiedades eran inferiores a los cementos grises. Por este motivo en los reglamentos de construcción se lo prohibía expresamente para uso estructural. Como los primeros ejemplos de estructuras de hormigón con cemento blanco se encuentra el edificio del Planetario de Buenos Aires y obras aisladas de poca relevancia.

A partir del año 2000 en Argentina todos los cementos blancos pasan a ser importados, de diferentes procedencias (México, Brasil, España, Dinamarca, Colombia, Bélgica, etc.); todos estos cementos blancos tienen propiedades superiores a los cementos grises, y a partir de este motivo se comienzan a desarrollar obras de hormigón blanco de gran relevancia arquitectónica. Este cambio lleva a analizar las modificaciones en las normas y los reglamentos para la utilización del cemento blanco. En las Figuras N° 13, 14, 15, 16 y 17 se pueden ver las principales obras de hormigón blanco.

Figura N° 13. Estadio de Fútbol Ciudad de La Plata, Provincia de Buenos Aires,
Hormigonera Platense, 2003.



Figura N° 14. Puente de la Mujer, Bs., Arq. S. Cala trava, Hormigonera Lomax, 2001.



Figura N°15. Mausoleo de Perón, Provincia de Buenos Aires, Hormigonera Valfos, 2006.



Figura N°16. Estadio Polideportivo de Bolívar, Provincia de Buenos Aires, 2007



Figura N°17. Centro Islámico de la Ciudad de Buenos Aires, paneles de hormigón blanco reforzado con fibra de vidrio GRC ZATO, 2000.



En las obras de Argentina se utilizaron como agregados grueso y fino blancos las cuarcitas de Sierra de los Padres, arenas fluviales normales de la ciudad de Buenos Aires; se dosificaron hormigones bombeables, y se utilizaron paneles de hormigón reforzado con fibra de vidrio resistente a los álcalis.

En los últimos años se observa un aumento progresivo en el uso de hormigones preparados con cemento blanco para la realización de obras de relevancia estética. Uno de los factores que deciden su empleo es la disponibilidad de agregados blancos que además de reunir los requisitos de inocuidad, deben estar en concordancia con las características del color del cemento. Se debe tener presente que el factor que determinará su empleo es la disponibilidad de agregados gruesos y finos blancos. El costo de flete, es decir la distancia de disposición a la obra determinará el costo final del emprendimiento y su factibilidad. (Mangin, 2008).

Desde tiempo atrás se investigó la presencia de rocas carbonáticas desde cálcicas a magnesianas (dolomíticas) de color blanco en el ámbito de la provincia de Córdoba. (Simián

et al., 2001; Sfragulla *et al.*, 1999). Si bien se conocen en general, y en muchos casos a nivel particular, el conocimiento está enfocado según el uso que le haya dado el propietario a sus canteras. Estos yacimientos son fuente de abastecimiento para la fabricación de cales y cementos; que junto con los agregados graníticos metamórficos y arenas fluviales de la zona constituyen los materiales de construcción utilizados en la provincia.

Desde el punto de vista geológico la zona es muy propicia debido a la existencia de grandes yacimientos de mármoles blancos de muy buenas propiedades físicas. Por su ubicación como centro geográfico permite un abastecimiento permanente y en grandes volúmenes al resto del país (especialmente por ferrocarril hacia el Litoral, Rosario y Capital Federal) para desarrollar la aplicación del hormigón con cemento blanco. Sin embargo, no existen estudios desde el punto de vista de su utilización como agregados para hormigón. Hay pocos resultados de ensayos tecnológicos sobre estas rocas (resistencia a la compresión, desgaste Los Ángeles, etc.) y evaluación de su color.

Desde el punto de vista químico, existen yacimientos de calizas blancas de composición magnesiánica en la zona del Valle de Calamuchita y Alta Gracia; es decir al sur de la ciudad de Córdoba. Mientras que los yacimientos de composición cálcica se encuentran en zonas cercanas a la ciudad de Córdoba, al norte y el oeste (Valle de Punilla, Sierra Chica norte, etc.).

Por sus procesos de recristalización, las calizas dolomíticas (magnesianas) poseen un arreglo cristalino que en general, les otorga mayor resistencia (flexión, compresión, desgaste), y mayor resistencia a la meteorización que las calizas cálcicas. Estas últimas son catalogadas como "más blandas" y más susceptibles a la lixiviación que sus pares dolomíticas. En este trabajo se analizarán varias alternativas de yacimientos de agregados blancos calcáreos disponibles en la provincia de Córdoba.

Por lo que cada proyecto de construcción con hormigón blanco, requiere analizar la incidencia del costo de traslado del agregado blanco desde la cantera a la obra o la planta hormigonera. Esto llevará a la necesidad de analizar nuevos sitios de agregados blancos para emprendimientos en zonas fuera del área de influencia de la provincia de Córdoba, para lo que se podrá extrapolar el modelo de análisis propuesto en el presente trabajo.

También se tuvo en cuenta que la durabilidad del hormigón no se vea afectada por reacciones deletéreas del tipo álcali-agregado. Son numerosos los trabajos realizados en el mundo y en particular en Argentina vinculados con esta temática. Dentro de estas reacciones deletéreas las más comunes son la reacción álcali-sílice y la reacción álcali-carbonato. Esta última se desarrolla sobre rocas dolomíticas y la mayoría de los investigadores coincide en reconocer a la dedolomitización como el factor principal de las expansiones observadas en estas rocas. Esta reacción química de ataque, modifica la composición mineralógica original de la roca produciendo el reemplazo de la dolomita $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ por calcita $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ y brucita $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Batic *et al.* (1991) y Milanesi *et al.* (1996) estudiaron la reactividad alcalina potencial de rocas carbonáticas provenientes de las provincias de Río Negro (dolomía Valcheta), Buenos Aires (Olavarría) y Córdoba (Alta Gracia).

El mármol de Córdoba es una roca con textura granoblástica, con tamaños de grano mediano a grueso (entre 1.5 y 4.5 mm), constituida aproximadamente por un 30 % de dolomita y el resto de calcita. El porcentaje de residuo insoluble es muy bajo (3 %). Se la califica como una caliza dolomítica macroesparítica.

2 OBJETIVO

Evaluar la factibilidad del uso de agregados calcáreos de la provincia de Córdoba en la fabricación de hormigón con cemento blanco, a través del estudio de la aptitud físico-mecánica y las características petrográficas.

3 MATERIALES

CANTERAS POTENCIALES DE AGREGADOS BLANCOS CALCAREOS DE LA PROVINCIA DE CORDOBA

Se analizan posibles canteras de agregados blancos confiables en abastecimiento, con propiedades y costos adecuados para emplear en hormigón elaborado con cemento blanco.

La Dirección Provincial de Minería de Córdoba (Sfragulla *et al.*, 1999) resume la ubicación de todos los yacimientos y sus reservas potenciales en base a estimaciones propias y a datos provistos por los propietarios. Estos datos se utilizarán como referencia para los yacimientos existentes.

3.1 GEOLOGÍA

La ubicación regional de las canteras estudiadas corresponde al basamento cristalino de las Sierras Pampeanas de Córdoba que está integrado principalmente por esquistos y gneises de edad proterozoica a paleozoica inferior. La Figura N° 18 muestra el Mapa Geológico de la Provincia de Córdoba editado por el SEGEMAR.

La Figura N° 19 muestra la distribución de las Sierras Pampeanas Occidentales y Orientales en Argentina (Ramos, 1999); y la Figura N° 20 muestra el Mapa Geológico de las Sierras de Córdoba (Estudio Ambiental de Base Provincia de Córdoba-Proyecto Pasma II, Programa A3c (Bonalumi A. , 2004).

FIGURA N°18. Esquema Mapa Geológico de la provincia de Córdoba, SEGEMAR.

(Directorio de Oportunidades Mineras, 1996)

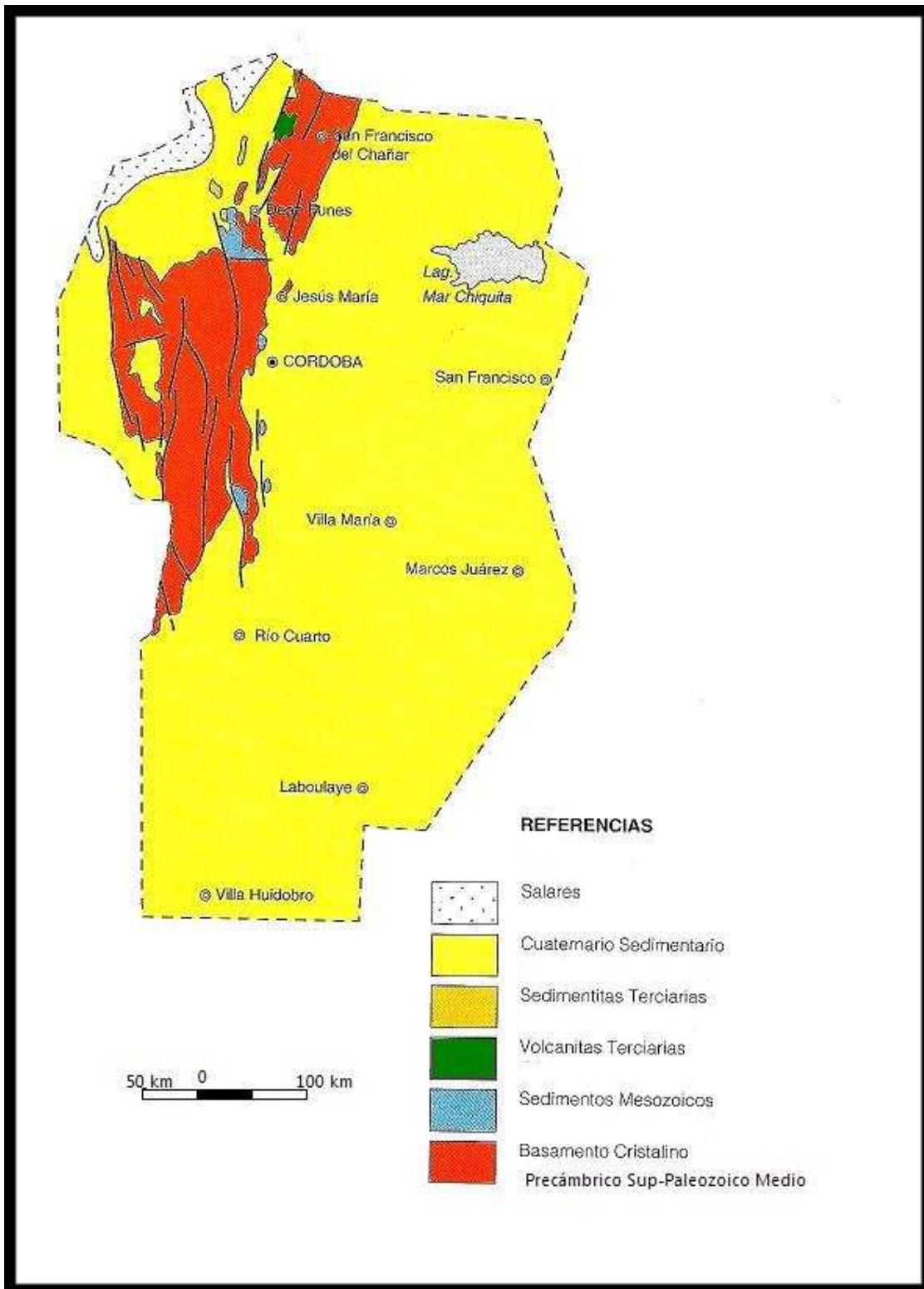


FIGURA N° 19. Rasgos principales de las Sierras Pampeanas Occidentales y Orientales y su relación con las provincias adyacentes (Ramos en Caminos, 1999).

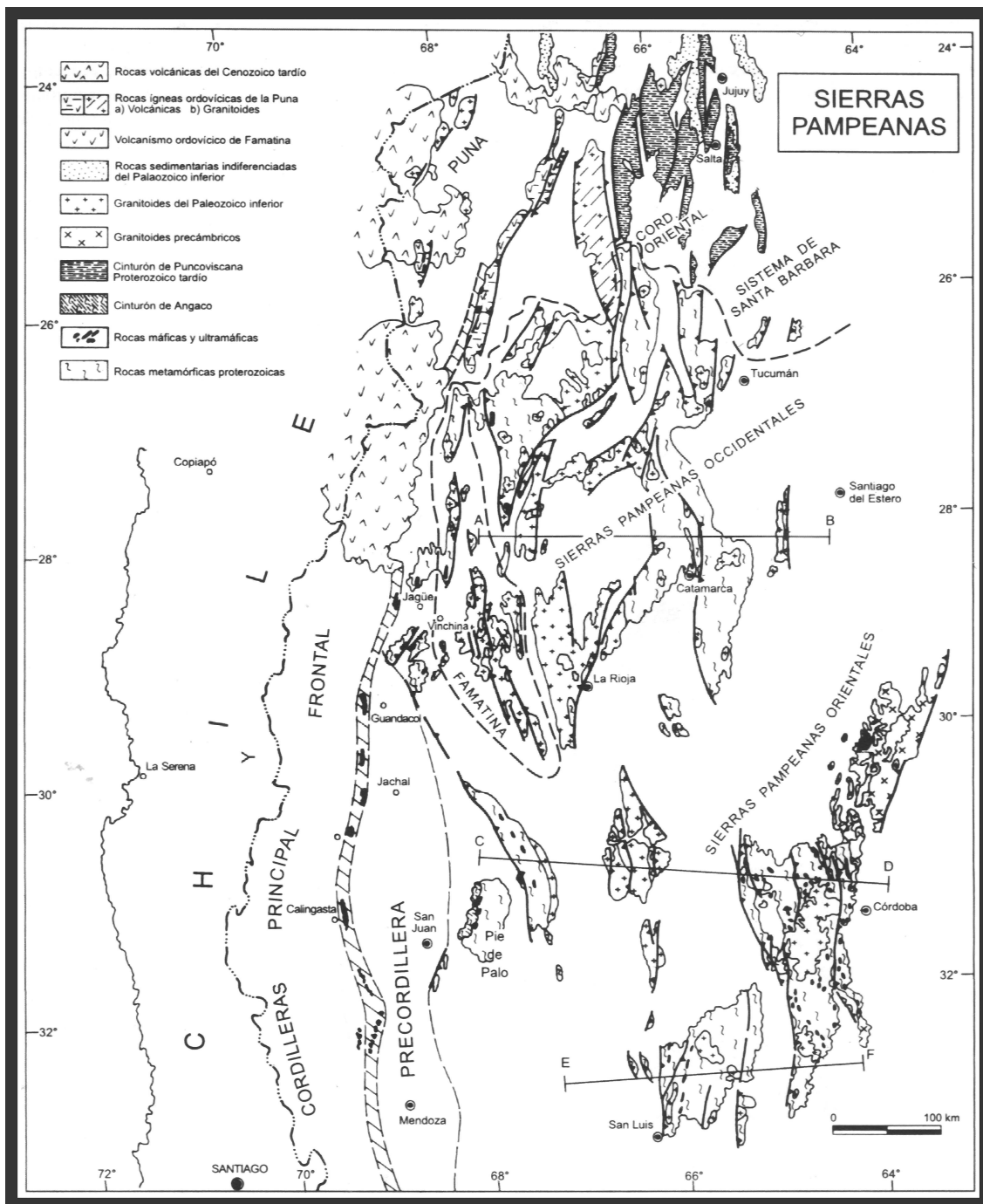
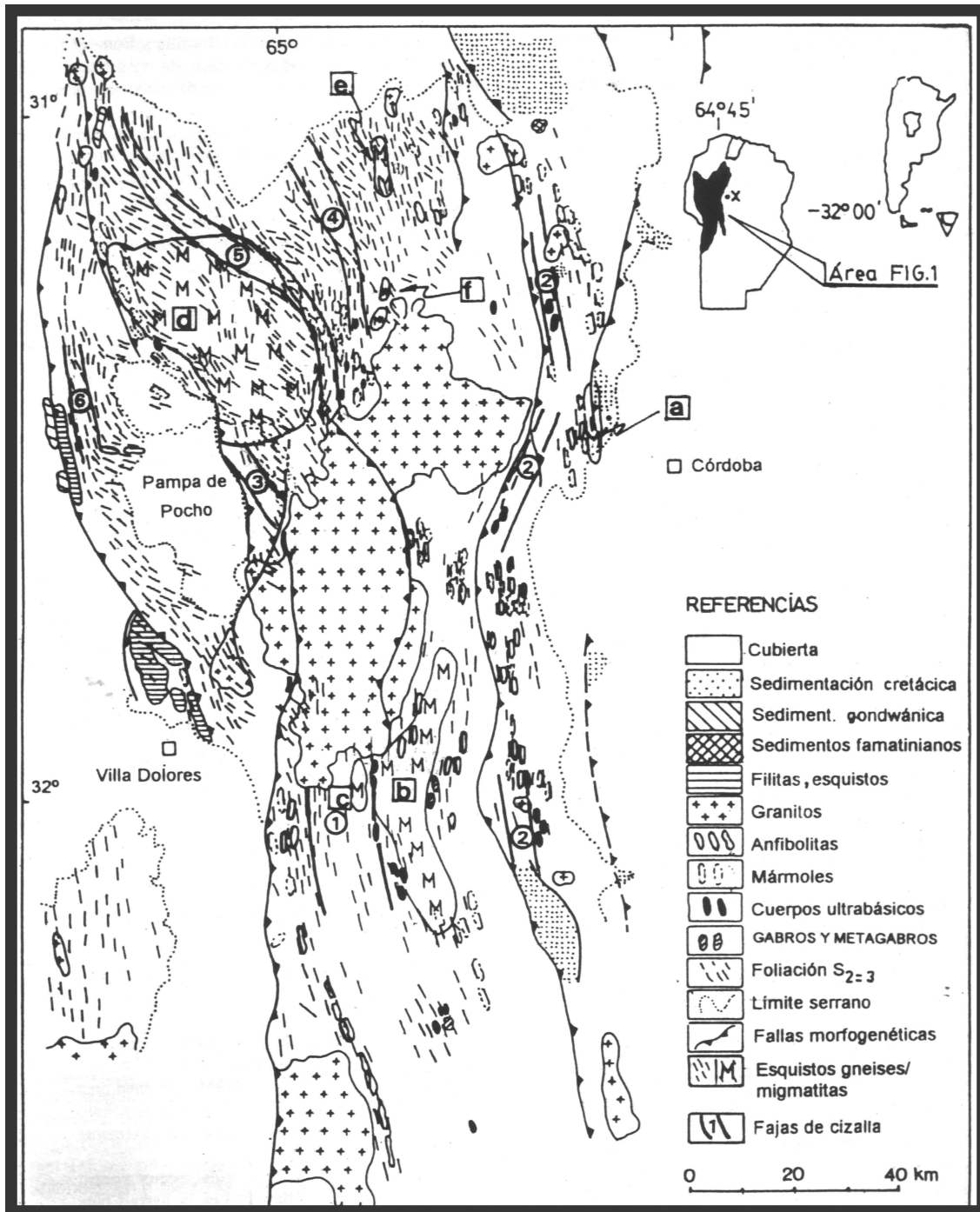


FIGURA N°20. Mapa geológico esquemático recopilado de las Sierras Pampeanas de Córdoba (Bonalumi, 1999).



La mayoría de las metamorfitas se encuentran en grado medio o facies de anfibolitas, y algunos sectores se incrementan a facies de alto grado metamórfico representados por fajas y macizos migmatíticos. Subordinados con respecto a las litologías anteriores, afloran cuerpos de mármoles, anfibolitas, metacuarcitas, esquistos filíticos y fajas discontinuas de rocas máficas y ultramáficas (Bonalumi A. *et al*, 1999).

Los mármoles son característicos del sector Centro-Oriental de las Sierras de Córdoba, tanto en la Sierra Chica como en la Sierra Grande; y menos abundantes en el sector Occidental ubicado al oeste del batolito de Achala (Bonalumi A. *et al*, 1999).

Al norte del batolito de Achala aparecen variedades calcíticas, calcodolomíticas y dolomíticas con metamorfismo de grado medio a alto (Bonalumi A. *et al*, 1999).

Otro grupo importante aflora en la margen oriental de la Sierra de Comechingones como mármoles calcodolomíticos con asociación de forsterita+diópsido+calcita+dolomita acompañados por metapelitas (Bonalumi A. *et al*, 1999).

En la Sierra Chica en forma asociada a los mármoles se presentan las anfibolitas, algunos esquistos y rocas ultramáficas que forman la roca de caja de las canteras.

3.2 CANTERAS Y YACIMIENTOS DE LAS SIERRAS DE CÓRDOBA RELEVADOS

Siguiendo el criterio de la Dirección de Minería de Córdoba (Sfragulla *et al.*, 1999) las Sierras de Córdoba se dividen en tres sectores: Calizas del Cordón Oriental, del Cordón Central, y del Cordón Occidental.

Calizas del Cordón Oriental

Comprende las Sierras Chicas de Córdoba desde Ascochinga al norte, hasta Las Peñas al sur, y es el distrito con los mayores yacimientos dolomíticos como Alta Gracia y San Agustín.

Calizas del Cordón Central

Comprende las Sierras Grandes desde Cruz del Eje al norte, hasta Achiras al sur, con yacimientos de las variedades cálcicas y dolomíticas.

Calizas del Cordón Occidental

Comprende las Sierras de Guasapampa, Pocho y Altautina ubicadas en el Valle de Traslasierra con composiciones calco dolomíticas.

3.2.1 Calizas del Cordón Oriental de las Sierras de Córdoba.

3.2.1.1 Yacimiento El Carapé, La Cumbre: se ubica a 18 km el este de La Cumbre; se accede con una huella que llega a las canteras, en la cima de las Sierras Chicas; por lo que el costo de transporte es muy elevado. Se trata de un yacimiento potencial para la fabricación de cemento. Actualmente se encuentra inactivo por lo que se descartó para el presente estudio.

3.2.1.2 Canteras Amadeo S.R.L. (ex Canteras El Sauce): ubicado a 55 km al norte de la ciudad de Córdoba y 10 km al noroeste de Salsipuedes; se utilizaban los yacimientos de calizas cálcicas para producir agregados calcáreos blancos. Se lo considera potencial para el desarrollo de los agregados en estudio ya que actualmente la planta de agregados solo produce agregado gris para hormigones.

3.2.1.3 Canteras de Calizas de Unquillo: pertenecientes a la Ex-empresa Minera Unquillo S.R.L., muy bien ubicadas respecto a Córdoba Capital (a 30 Km), se localizan al sur de La Calera y llegan hasta Unquillo. Fueron abandonadas hace más de 10 años, ya que se encuentran en zonas pobladas.

3.2.1.4 Canteras Dumesnil: se encuentra próximo al río Suquía a unos 20 Km de la ciudad de Córdoba. Abastecieron de calizas cálcicas por 50 años a la hoy demolida fábrica de Cemento de Juan Minetti S.A. Posee grandes reservas de calizas blancas para cales y triturados. Actualmente pertenecen a la empresa de agregados Canteras Dumesnil S.A., la que está interesada en explotarla para la obtención de agregados blancos si el mercado lo requiere, debido a que toda su producción es de agregado gris para hormigones.

3.2.1.5 Canteras cercanas a La Calera: se encuentran ubicadas a 5 Km al sur de Dumesnil, se caracterizan por calizas de coloración ocre a chocolate por lo que se descartan.

3.2.1.6 Canteras de Cosquín a Bialet Massé: son canteras ubicadas próximas a la ruta 38 entre Molinari y San Roque; se tratan de pequeñas explotaciones inactivas, que no cuentan con acopios ni escombreras blancas por lo que son descartadas.

3.2.1.7 Yacimientos de Falda del Carmen-Lagunilla: son canteras ubicadas unos 15 km al norte de Alta Gracia próximas a la ruta; son pequeños yacimientos inactivos, por lo que

se descartan.

3.2.1.8 Canteras en Bosque Alegre: estas canteras se ubican tanto en el sector este como en el sector oeste de la Sierra Chica, a la altura del Observatorio Astronómico y dentro de las Estancias El Paraíso y Bosque Alegre. Se acceden desde el camino que sale de Falda del Carmen hacia Copina. Se tratan de bancos calcáreos subverticales muy importantes, desde los que se han extraído millones de toneladas de calizas especialmente dolomíticas.

3.2.1.9 Alta Gracia a Valle de Buena Esperanza-Los Paredones: comprende el noroeste de la ciudad de Alta Gracia hasta Los Paredones hacia el sur. Los accesos a estas canteras son de alta pendiente y de muy mal estado pero se encuentran muy próximas a la ciudad. Algunas canteras poseen un ritmo de extracción del orden de las 500 a 1000 toneladas/mes, entregando el 100 % de la producción a las moliendas de Alta Gracia.

3.2.1.10 Canteras San Agustín: estos yacimientos se localizan a pocos kilómetros de la ruta 36 en la localidad de San Agustín. Son los más extensos de la faja dolomítica de la Sierra Chica Sur, y eran explotados por dos empresas: Canteras San Agustín S.A. y Blancaley S.R.L. Canteras San Agustín S.A. explota estas calizas magnesianas para fabricar cales, y realiza la trituración y clasificación de agregados para uso vial. La composición del agregado es variable debido a la roca oscura de las paredes de la cantera que se mezclan con la caliza clara, pero es la única empresa de la provincia que produce estos agregados. La empresa Blancaley S.R.L. producía y comercializaba triturados pétreos calcáreos, pero posee canteras con mayor destape estéril, y el color es menos uniforme; actualmente solo se dedica a la producción de agregados de color gris.

3.2.2 Calizas del Cordón Central de las Sierras de Córdoba

3.2.2.1 Yacimientos en la Pampa de Olaen: se encuentran unos 15 km al oeste de La Falda formando un distrito de variadas canteras de mármoles. Es una zona de extracción de mármoles, con pocos caminos y en mal estado de mantenimiento. Las calizas presentan gran cantidad de roca de caja como esquistos y gneisses.

3.2.2.2 Canteras de Valle Hermoso: se localizan a 4 km al oeste de Valle Hermoso muy próximos a la ruta 38. Las de mayor relevancia son Canteras Defilippi que posee grandes escombreras de material blanco mezclado con tonos ocres.

3.2.2.3 Canteras en Deán Funes (Norte de Córdoba): son formaciones de tipo calcretos o travertinos que se localizan hacia el norte de Deán Funes. Son calizas de poca relevancia, de colores ocres, muy alejados de la ciudad de Córdoba y en estado inactivo.

3.2.2.4 Cantera Las Lajas: se ubican próximas a la ruta 38 a unos 15 km al este de la ciudad de Cruz del Eje; se tratan de pequeñas canteras de calizas abandonadas.

3.2.2.5 Canteras Quilpo (CEFAS S.A.): estas canteras se localizan a unos 28 km al sureste de la ciudad de Cruz del Eje con acceso por el camino que bordea el Embalse Cruz del Eje. Son yacimientos de calizas muy grandes y las reservas remanentes son importantes. Existen escombreras como acopios de la abandonada producción de cales, todo en fracción 0-38 mm, con diversas tonalidades claras.

3.2.2.6 Yacimientos al oeste de La Cumbre (Pampa El Centenario, Ea. Potrerillos, Ea. Los Troncos): son yacimientos ubicados a unos 10 km al oeste de la localidad de La Cumbre. Todos se encuentran abandonados y poseen pequeñas dimensiones; por lo que son descartados.

3.2.2.7 Distrito Calizo Los Gigantes (Cuchilla Nevada): se ubican al oeste de la localidad de Tanti por la ruta 28 a la altura de Cuchilla Nevada; sobre las mismas Sierras Grandes, a más de 2000 metros de altura, y con caminos en muy mal estado todo el año. Son los mármoles más blancos y puros de Córdoba que se usaron para la fabricación de cemento blanco en la ciudad de Córdoba. Debido a los altos costos de fletes desde esta área se descartan en esta etapa de análisis.

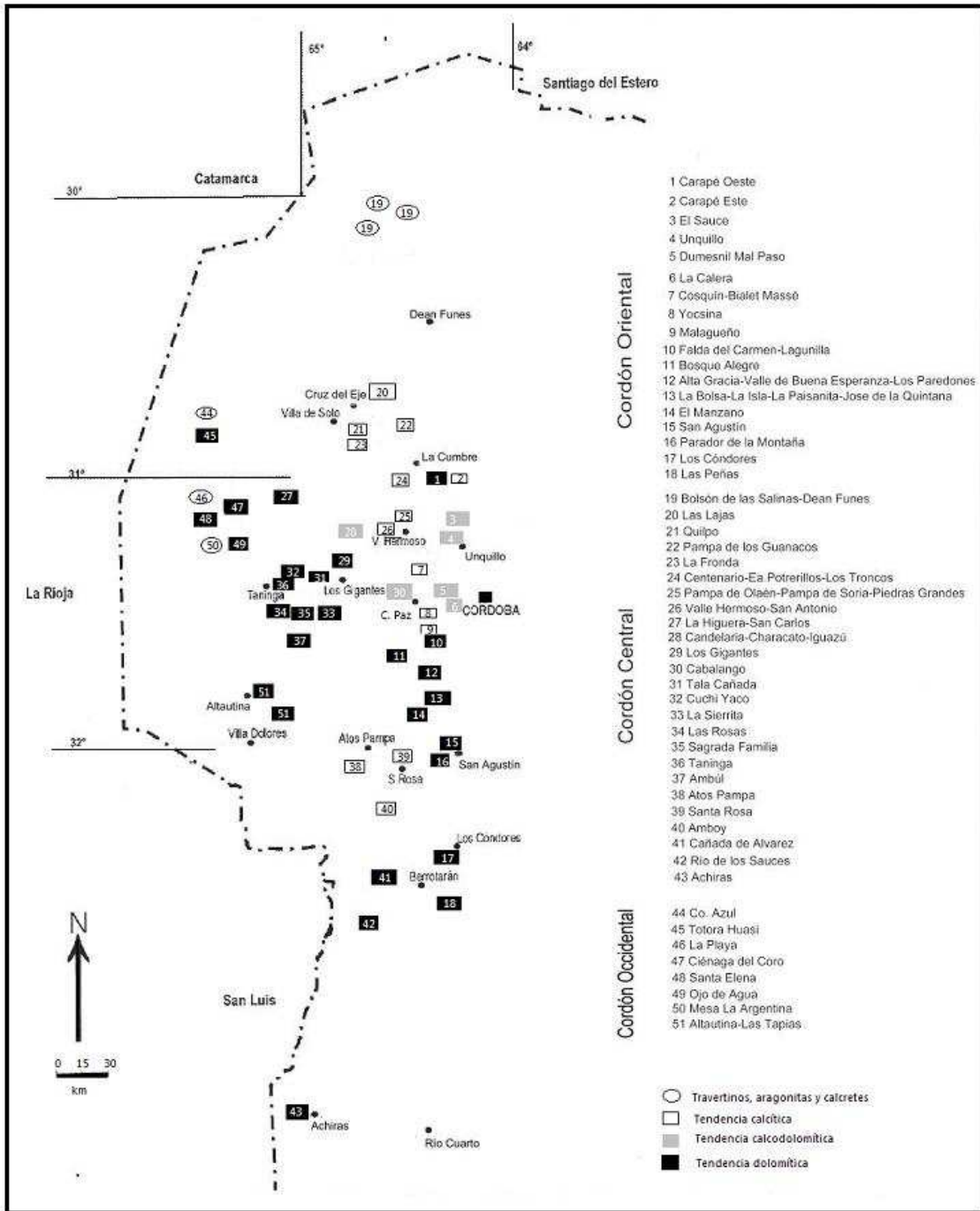
3.2.2.8 Canteras en Achiras (Río IV): se ubican a más de 200 km al sur de la ciudad de Córdoba, a unos 60 km al oeste de Río IV y a 7 km al noreste de Achiras. Son calizas muy impuras por ello se descartaron para el presente estudio.

3.2.3 Calizas del Cordón Occidental de las Sierras de Córdoba.

Son yacimientos que se localizan en la región del Valle Traslasierra y que abarcan las Sierras de Guasapampa al norte, las Sierras de Pocho y la Sierra Altautina; poseen calizas de composición calco dolomíticas. Se descartaron por su mayor distancia a la ciudad de Córdoba y a su poca relevancia.

En la Figura N° 21 y sus referencias se indica la ubicación geográfica de las principales canteras.

Figura N°21. Principales canteras (Sfragulla *et al*, 1999)



4 CANTERAS SELECCIONADAS

Por las consideraciones realizadas anteriormente, se seleccionaron para muestreo las canteras indicadas en la Tabla N° 1:

Tabla N°1. Canteras seleccionadas para los ensayos

| | | |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| CANTERAS SELECCIONADAS | CANTERAS AMADEO S.R.L. | Cantera Grande |
| | | Cerro Negro |
| | | Cantera Columna |
| | CANTERAS DUMESNIL S.A. | Cantera Minera Martín |
| | | Cantera El Congreso |
| | | Canteras de Brizuela |
| | CANTERAS de ALTA GRACIA | Cantera La Quebrada |
| | | Cantera El Aguaribay |
| | | Canteras de VERDOL |
| | CANTERAS SAN AGUSTIN | SAN AGUSTIN |
| | | BLANCALEY |
| | YACIMIENTOS DE QUILPO | CEFAS |
| YACIMIENTOS DE PAMPA DE OLAEN | Canteras La Argentina | |
| YACIMIENTOS DE VALLE HERMOSO | Canteras Defilippi | |

4.1 Canteras Amadeo S.R.L. (ex Canteras El Sauce)

Se ubica a 55 km al norte de la ciudad de Córdoba y a 10 km al noroeste de Salsipuedes. En El Pueblito se toma el camino hacia el oeste 2 Km, y se llega a la planta industrial. Los frentes en explotación más elevados se ubican entre 2 y 6 Km de la misma. En la Figura N° 22 se muestra la ubicación geográfica de la cantera.

Figura N° 22. Ubicación de Canteras Amadeo (fuente Google Earth)



Posee planta de trituración primaria y molienda de finos calcáreos (molinos a bolas, separadores, etc.) en mal estado de conservación y mantenimiento. Preparan material de diferentes granulometrías como 0-20 mm para uso vial, zarandeo de 6-19 mm y graníticos de 0-6 mm.

La Figura N° 23 muestra una vista de la zona de canteras y planta de agregados de Canteras Amadeo.

Figura N° 23. Canteras Amadeo (fuente Google Earth)



En la Figura N° 24 se muestra una fotografía de la planta de agregados con la separación del tamaño 6-19 mm.

No hay acopios de mármoles blancos y en un futuro se podrán triturar estas rocas mediante una explotación selectiva en la cantera, y con un transporte interno a la planta de entre 2 y 3 Km.

Figura N° 24. Planta de agregados de Canteras Amadeo



Existían 3 frentes principales de explotación de bancos de calizas blancas a grises de grano fino, subverticales, entre 5 y 20 metros de potencia real, encajados entre esquistos negros y ocres.

Las explotaciones de los bancos calcáreos se ubican en general en cerros elevados. En la medida en que las rocas de caja oscuras sean explotadas liberaran las calizas permitiendo realizar nuevos banqueos, y obtener reservas explotables sin gran dificultad.

Los frentes de cantera más importantes fueron los siguientes:

4.1.1 Cantera Grande: en dos niveles de 15 metros de altura cada uno.

4.1.2 Cantera Cerro Negro: en un solo nivel, con todo el piso disponible para dos o más niveles de explotación; posee dos bancos calizos separados por una lente granítica alterada.

4.1.3 Cantera Columna: sobreelevada a 50 metros sobre el valle norte (en el cual corre el camino provincial que lleva a la Capilla de Candonga). Se presenta de igual manera que la anterior, es decir con un banco calcáreo impuro de unos 15 metros de potencia, encajado entre rocas esquistosas negras que también han sido explotadas para generar agregados pétreos.

RESERVAS EXPLOTABLES: para la generación de agregados blancos sin selección en piso de cantera, el nivel de reservas es muy importante. La Dirección de Minería de Córdoba en su informe indica 3,6 millones de toneladas (Sfragulla *et al.*, 1999).

4.2 Canteras Dumesnil S.A.:

Las canteras se encuentran sobre el camino que une Dumesnil con Villa Allende frente al Dique Saldan y la antigua fábrica de cemento Hércules. Su posición respecto a la ciudad de Córdoba es la mejor de todos los yacimientos estudiados, ya que la distancia al centro Córdoba es de solo 20 Km.

En la Figura N° 25 se muestra una imagen con la ubicación de la zona de las canteras.

Figura N° 25. Ubicación de Cantera Dumesnil (fuente Google Earth)

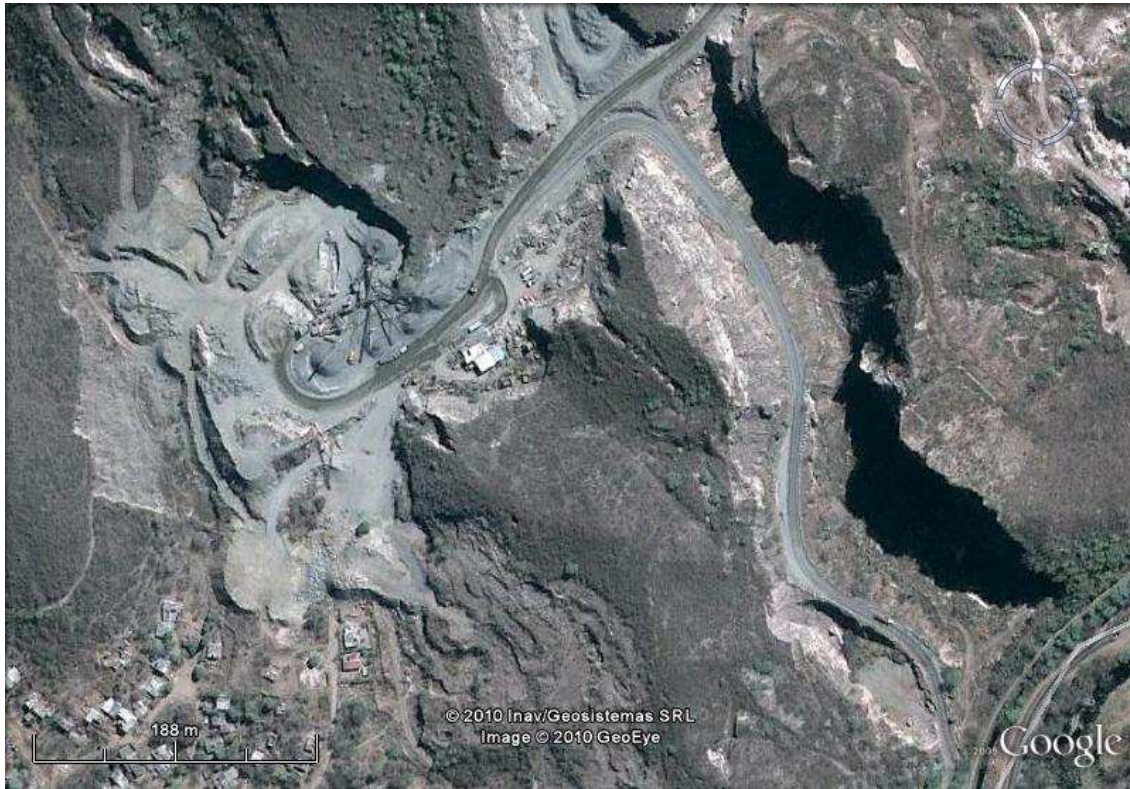


Cuenta con una planta de agregados que es abastecida por grandes acopios de la fábrica de cemento que trabajó allí por más de 50 años. Tiene una capacidad de 30.000 toneladas/mes, con muy buena cubicidad, ya que las trituradoras de los agregados son de martillos por impacto y a cono.

Actualmente procesa solamente agregados de color gris en los tamaños para las plantas de hormigón de 0-4 mm, 4-20 mm, 6-12 mm.

La Figura N° 26 corresponde a una vista aérea de la planta de agregados.

Figura N° 26. Vista de la planta de agregados de cantera Dumesnil (fuente Google Earth)



Los frentes de mármol que fueron abandonados fueron los siguientes:

4.2.1 Cantera Minera Martín: es un gran banco de color blanco que se explotaba para extraer piedra para hornos de cal. El espesor del banco era de 30 metros, y la corrida de unos 150 metros de longitud. Las reservas explotables de este banco ascendían a unas 300.000 toneladas.

4.2.2 Cantera El Congreso: se trataba de un banco subvertical de color blanco a blanco amarillento claro, silíceo, muy tenaz, de 170 metros de largo y 25 metros de espesor. Las reservas explotables se situarían en las 400.000 toneladas de mármoles blancos.

4.2.3 Canteras de Brizuela: se extrajo piedra para hornos de cal y para frentes de

viviendas. Se explotaba un gran sector con bancos de caliza gris clara, de grano grueso con unos 30 metros de espesor; y otro frente de caliza blanca de grano fino de un espesor menor de 5 metros.

Las reservas de las canteras inferiores son del orden de 120.000 toneladas, mientras que de la superior se obtendrían 50.000 toneladas, aunque con costos más elevados por la escasa potencia que presenta el banco blanco.

RESERVAS EXPLOTABLES: existen más de 1 millón de toneladas aprovechables de mármoles blancos.

4.3 Canteras de Molienda Alta Gracia - Estancia El Paraíso:

Comprenden las zonas desde Falda del Carmen hasta el Observatorio Bosque Alegre. Se accede por la ruta que parte desde la rotonda de Falda del Carmen y asciende hacia el Observatorio Astronómico de la Universidad de Córdoba. Luego de 6 Km se accede a la Estancia El Paraíso. Se encuentran a 5 Km desde Alta Gracia y 40 Km de Córdoba Capital. En la Figura N° 27 se muestra la ubicación de las canteras.

El ambiente geomorfológico corresponde a lomas relativamente suaves, entre las cuales aparecen los yacimientos de calizas tipo dolomíticas de 5 a 10 metros de espesor. La roca explotada posee varias calidades y en cantera se selecciona a mano, lo que hace subir su costo. Llega a un movimiento de 1.000 toneladas por mes clasificada en categorías: 1°, 2° y 3° de acuerdo a su color.

Figura N° 27. Canteras Alta Gracia, Falda del Carmen y Observatorio Bosque Alegre
(fuente Google Earth).



Las canteras actualmente en explotación son:

4.3.1 Cantera La Quebrada: es un banco de caliza gris dentro de la cual se obtienen trozos de una caliza de 3°. Hay un banco de 3 metros de espesor de caliza blanca de 2°, que es escasa respecto a la gris. La labor posee 50 metros de largo por 10 metros de ancho, con muchos problemas de derrumbes, estériles contaminantes, y sectores de alteración.

4.3.2 Cantera El Aguaribay: existe un cuarto material caliza de 4° que por su costo es el único material que podría ser usado para hormigones. Su presencia es muy abundante dentro de los variados frentes existentes en la Estancia El Paraíso.

RESERVAS EXPLOTABLES: el nivel de reservas es de aproximadamente 15 millones de toneladas.

4.3.3 Canteras de Molienda VERDOL S.A.- Estancia Bosque Alegre: son una serie de canteras cercanas al Camino de las Altas Cumbres en el cruce de Copina. Las canteras principales son: canteras Villaverde, El Corte, y Defilippi, todas activas en la actualidad. Son bancos de calizas dolomíticas muy puras, de hasta 120 metros de espesor, y de varios centenares de metros de largo; algunas ya están paralizadas e inundadas, como El Corte; pero otras como Defilippi, posee frentes útiles de donde se extraen las distintas calidades de piedra. En la Figura N° 28 se muestra la ubicación de estas canteras próximas al Observatorio Bosque Alegre.

Lo más importante de VERDOL S.A. son sus enormes acopios de piedra blanca muy pura. Un aspecto fundamental, observado para explicar la pureza de estos acopios por su blancura, es que los flancos de las explotaciones son de dolomita blanca, y prácticamente en ningún caso se observó la presencia de gneisses o granitos oscuros.

Los trozos en acopios son algo amarillentos, otros algo verdosos por la presencia de silicatos, pero siempre con la tonalidad blanquecina.

RESERVAS: existen más 1,1 millones toneladas de mármol.

Figura N° 28. Canteras del Observatorio Bosque Alegre (fuente Google Earth).



4.4 Canteras San Agustín S.A. y Blancaley S.R.L.

Las plantas industriales de estas empresas se localizan a 65 Km al sur de la ciudad de Córdoba, sobre ruta 36 en la localidad de San Agustín dentro de las Sierras Chicas Occidentales. Se tratan de yacimientos de dolomitas que se encuentran a 5 Km de la ruta con muy buenos accesos.

En la Figura N° 29 se muestra la ubicación geográfica de estas canteras; mientras que la Figura N° 30 muestra una parte de la planta de agredados de la empresa San Agustín.

Figura N°29. Canteras San Agustín (fuente Google E arth).



Figura N° 30. Sector de la planta de agregados de cantera San Agustín



4.4.1 Canteras San Agustín S.A. es una tradicional firma productora de agregados, cales y pinturas con canteras propias dentro de una finca de más de 1.000 Ha, en las que se cubicaron 30 millones de toneladas de calizas. Existen varios frentes de cantera activos (Paraíso, Número 9) como el que muestra en la Figura N° 31 Frente Paraíso; el mayor de los cuales se explota a un intenso ritmo de 2000 toneladas/día, separándose manualmente en el mismo piso de cantera, la dolomita brillante y la de 3° que es usada tanto para sus hornos, como para la venta a terceros ubicados en Alta Gracia.

Figura N° 31. Frente de cantera Paraíso en explotación de San Agustín.



La roca de cantera ingresa a la planta de agregados por una trituradora primaria a mandíbulas, y luego pasa a dos trituradoras secundarias de cono que terminan los productos. La planta fue montada en 1999 y tiene una capacidad de 120 toneladas/hora de productos zarandeados, los que se clasifican en: 0-20 mm para uso vial; 3/8"; 6-19 mm, y arena 0-6 mm.

Cuando la roca blanca acopiada en los pisos de la cantera es triturada, primero se remueve la roca de caja de color negro que haya sido triturada. De esta forma se evita la contaminación entre ambas, a excepción del producto 0-6 mm cuya pila es una mezcla de productos blancos y oscuros.

San Agustín posee una cinta de selección manual sobre la cual 6 personas pueden separar y eliminar los trozos impuros. Esto normalmente no se hace cuando producen agregados, pero a pedido se puede colocar esa dotación para purificar el agregado blanco.

RESERVAS EXPLOTABLES: de lo observado en distintos frentes activos garantiza una provisión sin problemas superior a 5 millones de toneladas; permanentemente se abren nuevos frentes y se abandonan otros.

4.4.2 Blancaley S.R.L. era una empresa productora de cal y agregados, tenían su planta industrial ubicada también en San Agustín, y trabajaban canteras cercanas a las anteriores. Se diferenciaba porque su instalación de cantera era mucho más pequeña; su yacimiento se encontraba muy cerrado con estériles negros lo que obligaba a grandes movimientos de esta piedra, contaminando los acopios de triturados que de otra manera, serían blancos. La trituradora secundaria era un rodillo, por lo que arrojaba un gran porcentaje de partículas elongadas, por lo que la cubicidad de sus productos era muy irregular.

4.5 Yacimientos de Quilpo, Cruz del Eje:

Estos yacimientos y plantas se ubican en Quilpo, a 24 Km hacia el sureste de Cruz del Eje; en la Figura N° 32 se puede ver la imagen satelital de su ubicación. La empresa CEFAS poseía hornos verticales para calcinado de caliza y obtención de cales vivas e hidratadas de

excelente calidad debido a la composición y homogeneidad de la piedra.

Figura N°32. Ubicación de Canteras de Quilpo (fuen te Google Earth)



RESERVAS: la Dirección de Minería (Sfragulla *et al.*, 1999) informa más de 70 millones de toneladas de caliza para cales o cemento. El color varía entre rosado claro a blanco níveo.

4.6 Yacimientos en Pampa de Olaen:

Se accede por el Dique de la localidad de La Falda, hacia el Oeste por camino sobre la Pampa de Olaen en dirección a Molinari. A 8 Km de La Falda se observan ya las explotaciones de Cantera La Argentina. Se trata de una caliza blanca para cal y moliendas prácticamente paralizada. La explotación consta de una gran cantera impura dentro de la cual se siguen los bancos más blancos; son trabajadas selectivamente tratando de no tocar estériles que encarecerían la producción total. La Figura N° 33 muestra la ubicación de las

canteras.

Figura N°33. Ubicación de los Yacimientos en Pampa de Olaen
(fuente Google Earth)



RESERVAS: tiene grandes acopios de material extraído de cantera que alcanzan unas 100.000 toneladas. El producto triturado de esta escombrera muestra un color gris verdoso.

4.7 Yacimientos en Valle Hermoso:

Las canteras Defilippi se ubican a 3 km de la ruta principal del Valle de Punilla, al oeste de Valle Hermoso; la Figura N°34 muestra la ubicación de las canteras.

Son yacimientos de mármoles blancos conocidos y explotados desde hace 150 años para

la fabricación de cales. Las canteras actualmente explotan en unas 1500 toneladas/mes. Están formadas por bancos de caliza pura en un ambiente intensamente metamórfico, plegado y fracturado; la explotación es difícil, las canteras están muy cerradas y posiblemente deban ser abandonadas.

Figura N°34. Ubicación de los Yacimientos en Valle Hermoso (fuente Google Earth)



RESERVAS: Se observan calizas muy blancas, con mezcla de ocre, verde oscuros y negros (roca de caja). El acopio más grande de unas 50.000 toneladas presenta tonos más ocre, mientras que el más pequeño presenta colores blancos predominantemente, con una estimación de 25.000 toneladas.

5 MÉTODOS DE ENSAYO

A continuación se definen brevemente los componentes del hormigón blanco:

Agregados gruesos y finos blancos: son los materiales recomendados para mezclas de hormigones con cemento blanco. Entre ellos se encuentran las arenas calcáreas blancas bien graduadas, y los agregados de rocas cuarcíticas (Rodríguez *et al.*, 2000) (Mangin, 2008).

Cemento portland blanco: es un cemento especial de color blanco que cumple con los requisitos de las normas IRAM 50000 y 50001:2000, y los reglamentos de la construcción CIRSOC. Los cementos blancos se conocen como normales o fillerizados, y con resistencias que los clasifican como CP 40 y CP 50.

Hormigón Elaborado Blanco: es el hormigón fabricado con cemento portland blanco como ligante, junto con la mezcla de agregados normales de color blanco como mármoles o cuarcitas. Se conoce también como hormigón arquitectónico por su aplicación en obras y premoldeados, y que permiten nuevos diseños respecto al hormigón tradicional de cemento gris. También permiten la incorporación de pigmentos inorgánicos para dar nuevos colores (Aalborg White, 2000; Batic *et al.*, 2004; Cassar *et al.*, 2000; Benítez *et al.*, 2000, 2001, 2002; López *et al.*, 2007; Migoya *et al.*, 1997).

Los ensayos realizados para la caracterización de los agregados y del cemento portland blanco fueron los comprendidos por las normas IRAM. El criterio de aplicación fue de acuerdo a la procedencia de la muestra, ya sea material de canteras o agregados de planta de trituración.

Los ensayos aplicados fueron los siguientes:

- Análisis comparativo de Blancura de la roca.
- Determinación de la Compresión simple de la roca según la norma IRAM 10607.
- Determinación de la Absorción de agua según la norma IRAM 1533.
- Ensayo de Desgaste en la máquina de Los Ángeles según la norma IRAM 1532.
- Cálculo del factor de Cubicidad según la norma IRAM 1681.
- Determinación de la Pérdida por lavado sobre # 200 según la norma IRAM 1540.
- Análisis Granulométrico según la norma IRAM 1505.
- Examen Petrográfico de áridos para hormigones según la norma IRAM 1649.
- Cemento para uso general según la norma IRAM 50000/2000.
- Cemento con propiedades especiales según la norma IRAM 50001/2000.

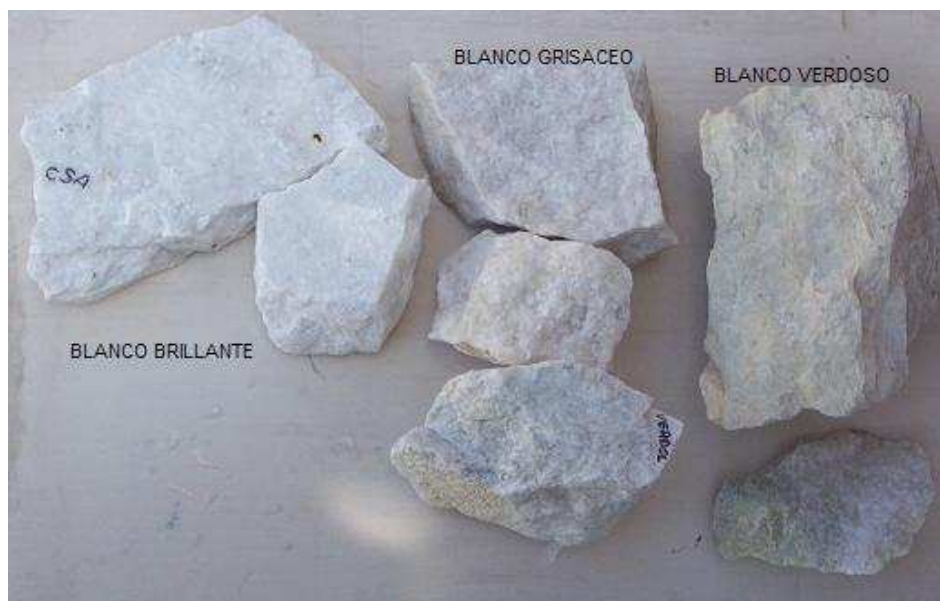
6 RESULTADOS OBTENIDOS

6.1 Análisis comparativo de blancura de la roca

El primer requisito que se considera del agregado es su color blanco o blancura para ser utilizado en hormigón con cemento blanco; lo más habitual es tomar una muestra de referencia del color y hacer comparaciones entre partidas y entre proveedores. Para que estas comparaciones sean correctas deben ser hechas entre muestras de la misma granulometría debido a que de esta forma se presenta la misma refracción de la luz entre las muestras.

Realizando la observación de los materiales de canteras se los puede clasificar de acuerdo a su blancura; se obtienen categorías desde una primera o blanco brillante, sigue una segunda, tercera categoría de blanco, y se llegan a tonos blanco grisáceo, amarillento y verdoso. En la Figura N° 35 se pueden ver las muestras de referencia con los distintos tonos de color blanco de las rocas analizadas.

Figura N° 35. Referencia de Blancura de las rocas analizadas.



Canteras Dumesnil S.A. puede realizar la explotación de canteras solo en los frentes de color blanco, como son Cantera Martín y El Congreso. Canteras San Agustín explota tanto agregados blancos como agregados grises. El color esperado de este yacimiento es bueno, dependiendo del frente de cantera que se explote. En la Tabla N° 5 se detallan los resultados del análisis de Blancura de las rocas estudiadas.

Tabla N° 5. Blancura de las rocas analizadas

| ANALISIS DE BLANCURA DE LA ROCA | | | |
|--|----------------------|-----------------------|------------------------------|
| Cantera | Frente | Tipo de roca | Color |
| Dumesnil S.A. | Minera Villa Allende | caliza cálcica | Blanco |
| | Cantera Brizuela | caliza cálcica gris | Gris Claro |
| | Cantera Brizuela | caliza cálcica blanca | Blanco |
| | El Congreso | Caliza cálcica | Blanco |
| | Minera Martín | Caliza cálcica | Blanco |
| Canteras Quilpo | CEFAS S.A. | Caliza cálcica | Multicolor |
| Pampa de Olaen | La Argentina | Caliza cálcica | Blanco Amarillento |
| Valle Hermoso | Cantera Defilippi | Caliza cálcica | Blanco Amarillento |
| Bosque Alegre | Cantera Negrete | Dolomita | Blanco grisáceo, amarillento |
| | Cantera Villaverde | Dolomita | Blanco |
| | VERDOL S.A. | Dolomita | Blanco |
| Cantera Amadeo | Cantera Cerro Negro | Caliza cálcica | Blanco, grises y rosados |
| | Cantera Columna | Caliza cálcica | Blanco, grises y rosados |
| San Agustín | triturado 0-6 mm | Dolomita | Gris Clara, amarillenta |
| | triturado 3/8" | Dolomita | Blanco |
| | triturado 6 - 19 mm | Dolomita | Blanco, blanco grisáceo |
| Blancaley | triturado 3/8" | Dolomita | Gris |
| | triturado 6 - 19 mm | Dolomita | Blanco |
| Alta Gracia | triturado 10 - 20 mm | Dolomita | Blanco puro |

En la Figura N° 36 se muestra parte del material de acopio de Canteras San Agustín; del lado izquierdo se observa el agregado grueso 6/19 de color blanco, mientras que del lado derecho al camino se observa el agregado de color gris 6/19.

Figura N°36 Cantera San Agustín, acopio de agregados 6/19 blanco y gris



6.2 Método de determinación de la resistencia a la compresión uniaxial, norma IRAM 10607.

El objetivo de conocer la resistencia de la roca de las canteras de mármoles y calizas fue verificar esta propiedad para asegurar la aptitud mecánica de estas rocas para su aplicación en hormigones. Tampoco se cuenta con antecedentes suficientes de hormigones realizados con estas rocas de mármol, ni mucho menos en mezclas para hormigón con cemento blanco.

Los ensayos de Compresión Simple de la roca se hicieron de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 10607. Se extrajeron testigos de roca de los bloques tomados de los frentes

de canteras y yacimientos visitados. Estos testigos se cortaron con broca diamantada con un diámetro de 42 mm, y se formatizaron sus caras planas paralelas para una relación altura/diámetro 2:1.

Las muestras cortadas se ensayaron en condición seca. El equipo usado para los ensayos de compresión fue una prensa CIFIC con capacidad para 10 toneladas.

Para la realización del ensayo se tomaron 3 muestras por cada cantera; para el cálculo se registraron los valores de la dimensión de las probetas (altura, diámetro) y se calculó la relación altura/diámetro, el coeficiente de forma, y la sección.

Se registraron los valores carga de rotura, se calculó la tensión de rotura y la tensión corregida.

Finalmente los resultados se expresaron como promedio de las tres determinaciones. La Tabla N° 6 indica las rocas que fueron ensayadas a la compresión simple.

Tabla N° 6. Rocas ensayadas a la compresión simple

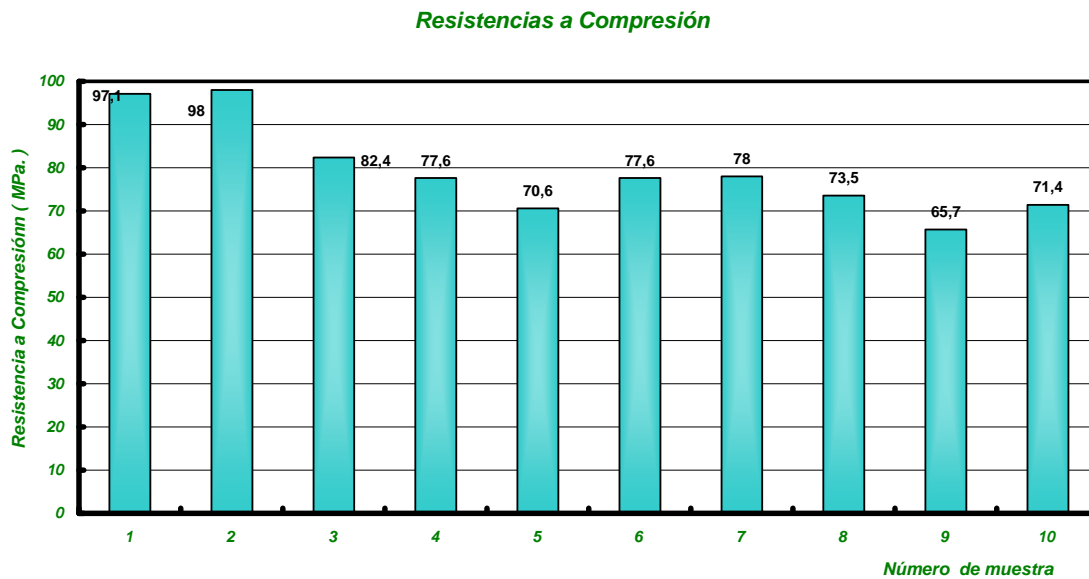
| Tipo de roca | Cantera | Frente |
|-------------------------|-------------------|---------------|
| Caliza cálcica silíceas | Dumesnil SA | El Congreso |
| Caliza cálcica | Dumesnil S.A. | Minera Martín |
| Caliza | Canteras Quilpo | |
| Caliza cálcica | Cantera Defilippi | |
| Caliza dolomítica | Verdol S.A. | Bosque Alegre |
| Caliza dolomítica | Verdol S.A. | Bosque Alegre |
| Caliza dolomítica | San Agustín | |
| Caliza dolomítica | San Agustín | |
| Caliza cálcica | Cantera Amadeo | El Sauce |
| Caliza cálcica | Cantera Amadeo | El Sauce |

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla N° 7 y en la Figura N° 37.

Tabla N° 7. Ensayos de Resistencia a la Compresión simple de la roca

| CANTERA | FRENTE | Res. Comp. MPa |
|-------------|-----------------|----------------|
| Dumesnil | El Congreso | 97,1 |
| | Minera Martín | 98,0 |
| Quilpo | Cruz del Eje | 82,4 |
| De Filippi | Valle Hermoso | 77,8 |
| Verdol S.A. | Bosque Alegre 1 | 70,6 |
| | Bosque Alegre 2 | 77,5 |
| San Agustín | Frente 1 | 78,0 |
| | Frente 2 | 73,5 |
| Amadeo | El Sauce 1 | 65,7 |
| | El Sauce 2 | 71,4 |

Figura N° 37. Resistencias a compresión simple de la roca



Los valores obtenidos de resistencia a la compresión simple de la roca dan un promedio de 79,2 MPa; con un mínimo de 65,7 MPa y un máximo de 98,0 MPa.

Los datos completos de los ensayos realizados se muestran en el APENDICE pág. 2, ensayos de Compresión Simple de la Roca.

Otros valores recopilados en canteras de la empresa Revestimientos El Inca de San Agustín dan valores de referencia de 87,9 MPa y 95,5 MPa.

Con el de comparar los resultados obtenidos con otros materiales de referencia, en la Tabla N° 8 se indican los valores de otros tipos de rocas empleados en hormigón. (Cailleux, 1978; Domínguez, 1990).

Tabla N° 8. Resistencia a la Compresión de otros tipos de roca

| Tipo de roca | Resistencia a compresión (MPa) |
|---------------------|---------------------------------------|
| Andesita | 30 a 300 |
| Basalto | 100 a 500 |
| Calizas duras | 52 a 95 |
| Calizas blandas | 9 a 19 |
| Dolomías | 50 a 175 |
| Gneiss | 80 a 330 |
| Granito | 37 a 380 |
| Areniscas | 35 a 200 |
| Tobas | 10 a 52 |
| Hormigón | 17 a 50 |

6.3 Determinación de la absorción de agua, Norma IRAM 1533.

La absorción de agua es la cantidad de agua expresada como un porcentaje, calculada de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 1533. Es el agua retenida dentro de los poros del material en las condiciones normales del ensayo. El conocimiento de esta propiedad se aplica para la corrección de la cantidad de agua en la dosificación de los hormigones.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla N° 9. Los datos de los ensayos realizados se muestran en el APENDICE pág. N°3. Ensayo de Absorción de Agua de las Rocas.

Tabla N° 9. Absorción de agua.

| Absorción de agua | | |
|--------------------------|-----------------|--------------------|
| CANTERAS | FRENTE | % ABSORCION |
| Dumesnil | Minera Martín | 0,53 |
| | Minera Martín | 1,03 |
| | El Congreso | 1,29 |
| Verdol S.A. | Bosque Alegre 1 | 0,44 |
| | Bosque Alegre 2 | 0,83 |
| San Agustín | 0-6 mm | 1,48 |
| | 3/8" | 1,61 |
| | 6/19 mm | 0,74 |
| Amadeo | El Sauce 1 | 0,81 |
| | El Sauce 2 | 0,75 |
| Blancaley | 3/8" | 1,05 |
| | 6/19 mm | 1,06 |
| Alta Gracia | Bosque Alegre | 1,07 |

6.4 Ensayo de Desgaste en la Máquina de los Ángeles, Norma IRAM 1532

El índice de Desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medios mecánicos y también con la capacidad resistente de los hormigones con él fabricados; cobra particular importancia en áridos empleados en hormigones de pavimentos.

Las muestras se ensayaron de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 1532. El método consiste en analizar granulométricamente un agregado grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a la abrasión en la máquina de Los Ángeles, y expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

Sus resultados aparecen indicados en la Tabla N° 10. Los datos de los ensayos realizados se muestran en el APENDICE pág. N°4. Desgaste Los Ángeles.

Tabla N° 10. Ensayo de Desgaste Los Ángeles

| DESGASTE en MAQUINA LOS ANGELES | | |
|--|-----------------|-------------------|
| CANTERAS | FRENTE | % DESGASTE |
| Dumesnil | Minera Martín | 39,8 |
| | El Congreso | 26,8 |
| Verdol S.A. | Bosque Alegre 1 | 55,9 |
| | Bosque Alegre 2 | 43,2 |
| Amadeo | El Sauce 1 | 27,7 |
| San Agustín | 3/8" | 36,4 |
| | 6-19 mm | 34,3 |
| Blancaley | 3/8" | 34,1 |
| | 6- 19 mm | 49,2 |
| Alta Gracia | Bosque Alegre | 34,1 |

6.5 Cálculo del Factor de Cubicidad, Norma IRAM 1681

La determinación del factor de Cubicidad consiste en caracterizar la forma de las partículas del agregado grueso. La forma óptima es de un valor de 1, mientras que 0 es un valor deficiente (achatadas y lajasas). Cuando los agregados son planares le confieren al hormigón una mala trabajabilidad y empeoran sus propiedades. Mientras que las plantas de agregados que trituran mármoles para la industria del mosaico, obtienen formas planas para obtener una mayor cantidad de superficie expuesta luego del proceso de pulido.

La finalidad del método fue determinar el factor de forma de las plantas de trituración de agregados existentes debido a que también proveen agregados para fábricas de mosaicos donde se buscan formas de agregados planares. Debido a que el ensayo se realiza sobre material obtenido de planta de agregados, no corresponde analizar por este método las muestras extraídas de canteras.

Las muestras se ensayaron de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 1681 con los resultados indicados en la Tabla N° 11; mientras que en el APENDICE página 1 se

muestran las tablas de valores.

Tabla N° 11. Cálculo del Factor de Cubicidad

| FACTOR DE CUBICIDAD | | |
|----------------------------|---------------|----------|
| CANTERAS | tamaño | F |
| San Agustín | 3/8" | 0,72 |
| Blancaley | 3/8" | 0,60 |
| San Agustín | 6-19 mm | 0,86 |
| Blancaley | 6-19 mm | 0,85 |
| Alta Gracia | 6-19 mm | 0,84 |

6.6 Determinación de la pérdida por lavado sobre # 200, Norma IRAM 1540

En este método se busca determinar la presencia de materiales finos pasantes el tamíz IRAM N° 200 (74 micrones). Estos finos en exceso pr ovocan una mayor demanda de agua en la mezcla del hormigón con lo cual disminuye la resistencia.

Las muestras se ensayaron de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 1540 con los resultados indicados en la Tabla N° 12. Debido a que el ensayo se realiza sobre material obtenido de planta de agregados, no corresponde analizar por este método las muestras extraídas de canteras.

Los datos de los ensayos realizados se muestran en el APENDICE pág. N° 5. Ensayo de pérdida por lavado sobre tamiz N° 200.

Tabla N° 12. Determinación de la pérdida por lavado sobre #200

| Pérdida por Lavado sobre #200 (74 micrones) | | |
|--|---------------|---------------------|
| CANTERAS | tamaño | % pasa # 200 |
| San Agustín | 0-6 mm | 2,9 |
| | 3/8" | 6,1 |
| | 6-19 mm | 1,3 |
| Blancaley | 3/8" | 3,0 |
| | 6-19 mm | 1,0 |
| Alta Gracia | 6-19 mm | 0,4 |

6.7 Análisis granulométricos, Norma IRAM 1505.

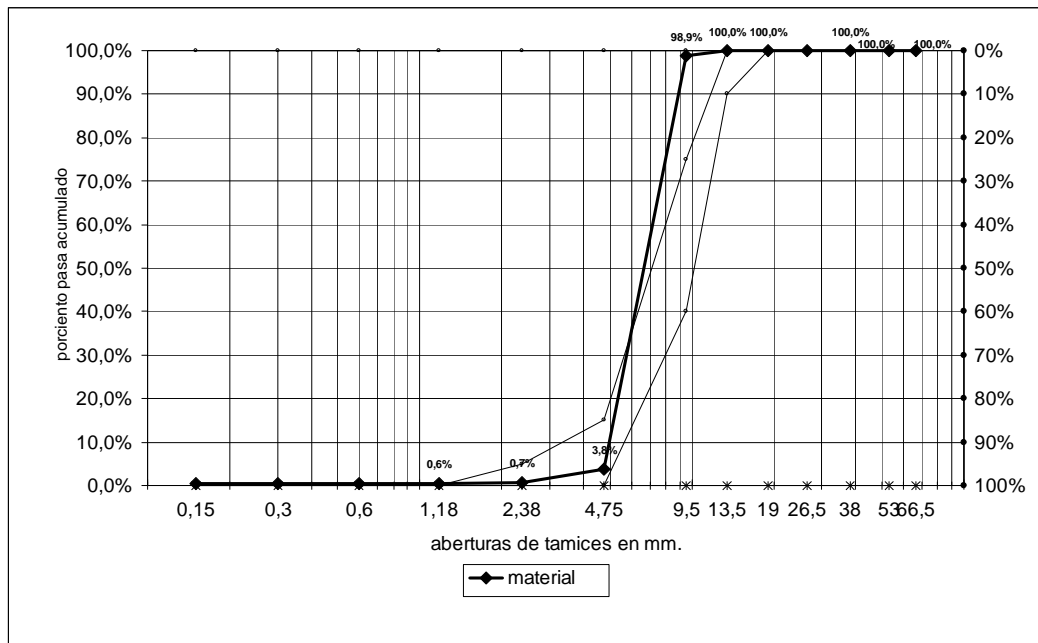
El análisis granulométrico es la distribución del tamaño de partículas que constituye un material granular. Las muestras se analizaron de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 1505. La cantidad de agregado grueso seca para la determinación fue mayor de 5 kg, mientras que para agregado fino fue mayor de 1000 gr.

Se analizaron las muestras de agregados gruesos provenientes de la planta de trituración de Canteras San Agustín, separadas en las fracciones de agregado grueso 3/8" (6-13 mm), agregado grueso 6-19 mm, y arena de trituración 0-6 mm.

El detalle de los ensayos realizados se muestra en el APENDICE pág. N°6. Granulometría calcáreo 6-13 mm; APENDICE pág. N°7. Granulometría calcáreo 6-19 mm; y APENDICE pág. N°8. Granulometría calcáreo 0-6 mm.

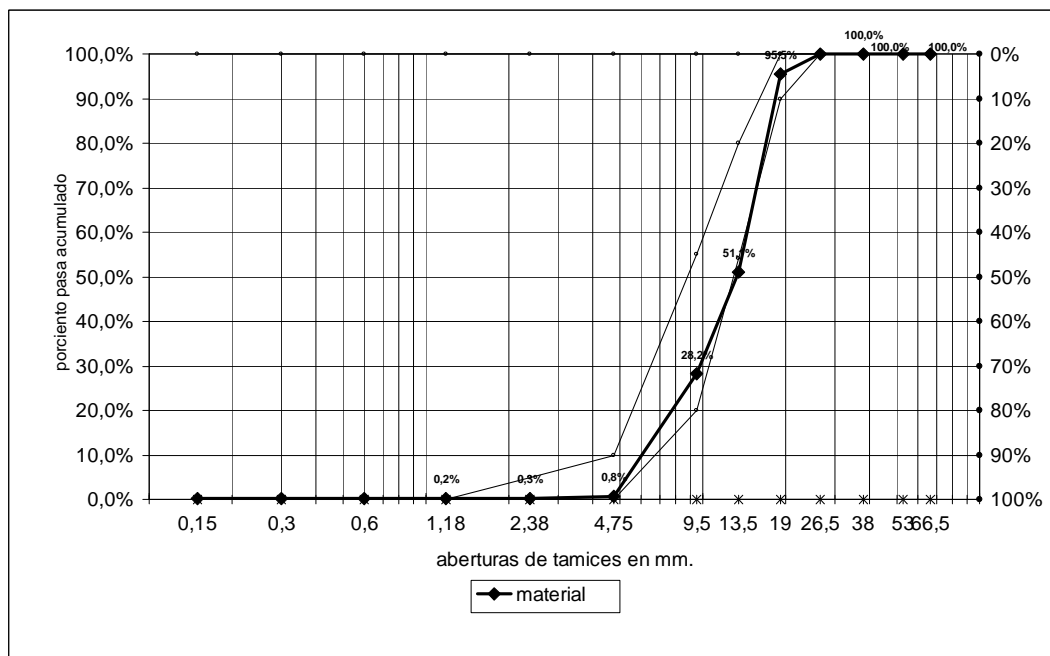
En la Figura N°38 se representan los resultados de la fracción agregado grueso 3/8" (6-13 mm).

Figura N°38. Análisis granulométrico de la fracción 3/8" (6-13 mm) Canteras San Agustín



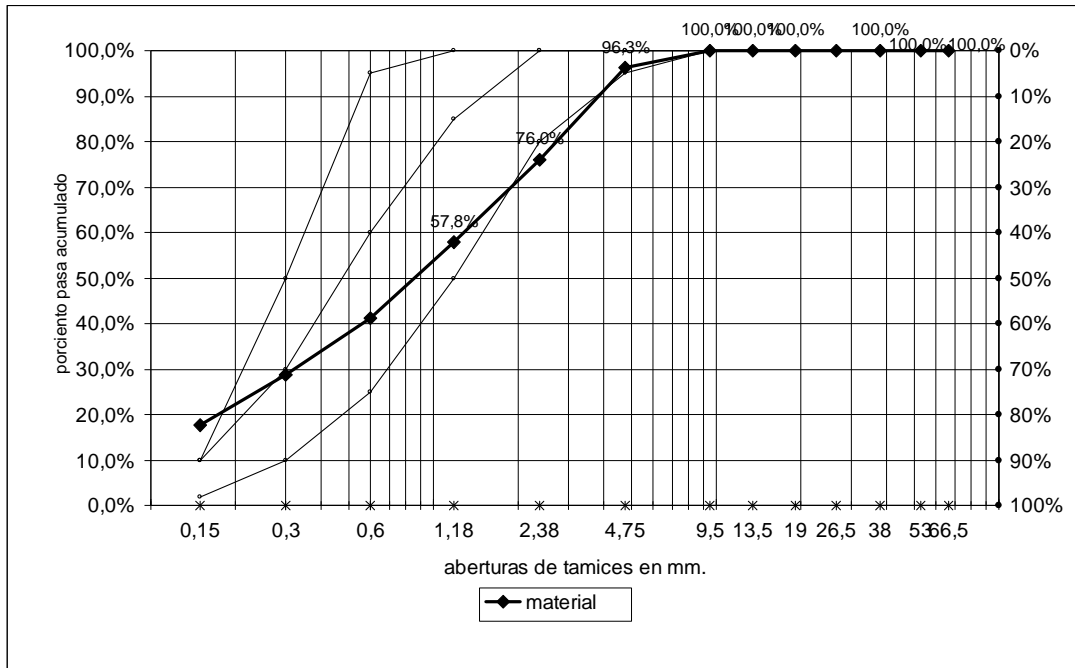
En la Figura N° 39 se muestran los resultados de la fracción del agregado grueso 6-19 mm.

Figura N°39. Análisis granulométrico de la fracción 6-19 mm Canteras San Agustín



En la Figura N°40 se muestran los resultados de la fracción de la arena de trituración 0-6.

Figura N° 40. Análisis granulométrico de la fracción de la arena de trituración 0-6 mm



6.8 Examen petrográfico de agregados para hormigones, Norma IRAM 1649

Las muestras de los agregados se analizaron de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 1649 haciendo una descripción macroscópica y análisis microscópico mediante corte delgado.

El informe petrográfico debe incluir recomendaciones respecto a cualquier investigación adicional que pueda ser requerida para evaluar propiedades adversas que han sido indicadas por el mismo. Las investigaciones petrográficas suplementarias pueden incluir análisis cuali o cuantitativo de los agregados o de porciones seleccionadas de la misma por difracción de rayos X, método térmico diferencial u otros procedimientos que aportan al mejor conocimiento de un agregado.

Los resultados son los siguientes.

Muestra de roca de Cantera Dumesnil

Se trata de una roca de color blanco, compacta, totalmente cristalina y de fractura irregular. Microscópicamente presenta una textura granoblástica (Figura N° 41) con cristales subhedrales, bordes suturados, con muy alta birrefringencia, clivaje perfecto, y con una composición de carbonatos de calcio y magnesio. De acuerdo a la clasificación de las calizas cristalinas, la textura sería de tipo esparítica totalmente cristalizada.

Clasificación: Caliza Cristalina o Mármol.

Figura N°41 Caliza cristalina Cantera Dumesnil X 16 Luz Natural.

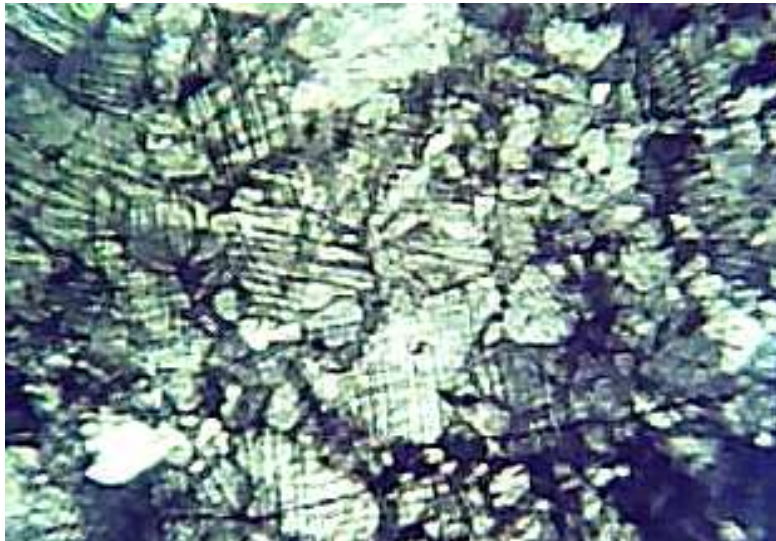


Muestra de roca de Canteras San Agustín

Se trata de una roca de color blanco, compacta, totalmente cristalina y de fractura irregular. Microscópicamente presentan una textura granoblástica de cristales subhedrales con bordes suturados y muy alta birrefringencia, con clivaje perfecto (Figura N° 42). El tamaño de cristales de 1,5 a 4,5 mm constituida por carbonatos de calcio y magnesio. De acuerdo a la clasificación de las calizas cristalinas, la textura sería de tipo esparítica totalmente cristalizada.

Clasificación: Caliza Cristalina o Mármol.

Figura N°42 Caliza cristalina Cantera San Agustín X 16 Luz Natural



6.9 Características del cemento blanco, Normas IRAM 50000/50001:2000

Los requisitos de las normas IRAM aplicados al cemento blanco son los mismos a los del cemento gris. Las Especificaciones de los cementos blancos están indicados en las normas

IRAM 50000/2000 CEMENTOS PARA USO GENERAL, e IRAM 50001/2000 CEMENTOS CON PROPIEDADES ESPECIALES.

El cemento pórtland blanco tiene una amplia variedad de aplicaciones, en las cuales es posible combinar objetivos de diseño, creatividad, color, textura, rendimiento y resistencia. Su utilización abarca desde la fabricación de morteros en general (revestimientos, pastinas, etc.), baldosas y premoldeados, pinturas antihumedad, e incluso en hormigones arquitectónicos estructurales. Los cementos blancos pueden desarrollar altas resistencias, incluso mayores a la de los cementos grises.

El cemento portland blanco se obtiene a partir de la producción de clinker de color blanco, en hornos de cemento. Este clinker blanco surge por calcinación, a una temperatura del orden de 1450-1500° C, de una mezcla finamente dividida de piedra caliza y arcillas blancas de tipo caolín. Esta mezcla se denomina normalmente harina cruda y como consecuencia de las reacciones químicas que tienen lugar durante la cocción se forman nuevos minerales: silicatos de calcio y aluminatos de calcio, que una vez molidos conjuntamente con yeso, serán los responsables de los procesos de hidratación y endurecimiento del cemento cuando éste se mezcle con agua. La adición controlada de yeso en la molienda tiene como objetivo regular el tiempo de fraguado al igual que en los cementos grises.

El color blanco del cemento es posible gracias a una estricta selección de sus materias primas, las que deben estar libres de hierro, manganeso y cromo; y de un permanente cuidado en todas las etapas de fabricación, especialmente la molienda, para preservar la blancura. Para las dosificaciones de pruebas de hormigón blanco se utilizó un cemento pórtland blanco normal tipo CPN 50 (B) con las características indicadas en la Tabla N° 13.

Tabla N°13. Características físicas del cemento blanco utilizado.

| Características Físicas (Promedio) | | |
|--|-----------------------------|------------------------|
| | IRAM 50000 | Bolsa |
| Superficie específica (m ² /kg) | Mín. 250 m ² /kg | 413 m ² /kg |
| % de expansión en autoclave | Máx. 1.0 % | 0.04 % |
| Fraguado Vicat Inicial (minutos) | Mayor de 45 min | 65 min |
| Fraguado Vicat Final (minutos) | Menor de 600 min | 125 min |
| Resistencia a la Compresión (MPa) | | |
| 24 hs | No requerido | 22.0 MPa |
| 2 días | Mín. 20 MPa | 34.2 MPa |
| 7 días | No requerido | 40.1 MPa |
| 28 días | Mín. 50 MPa | 63.8 MPa |
| Finura Retenido tamíz 75 micrones | Máx. 15 % | 0.3 % |
| Blancura (IRAM 50001) | Mín. 85 % | 92.9 % |
| Expansión en Autoclave ASTM C-1038 | Máx. 0,020 % | 0.014 % |

La Tabla N°14 presenta las características químicas del cemento blanco utilizado.

TABLA N°14. Composición química del cemento blanco

| Composición Química (Promedio) | | |
|--|-------------------|--------------|
| | IRAM 50000 | Bolsa |
| SiO ₂ (Óxido de Sílice) | | 21.5 % |
| Al ₂ O ₃ (Óxido de Aluminio) | | 4.62 % |
| Fe ₂ O ₃ (Óxido de Hierro) | Máx. 0.5 % | 0.24 % |
| CaO (Óxido de Calcio) | | 65.9 % |
| MgO (Óxido de Magnesio) | Máx. 5.0 % | 0.64 % |
| SO ₃ (Óxido de Azufre) | Máx. 3.5 % | 3.73 % |
| Na ₂ O (Óxido de Sodio) | | 0.07 % |
| K ₂ O (Óxido de Potasio) | | 0.21 % |
| Residuo Insoluble | Máx. 2.0 % | 0.2 % |
| Pérdida por calcinación | Máx. 4.0 % | 2.42 % |

7 DOSIFICACIONES DE HORMIGON

Se realizaron dosificaciones de hormigones con cemento blanco utilizando los agregados de mármol de Canteras San Agustín en las fracciones mostradas en los análisis granulométricos. Se combinaron las fracciones de la arena de trituración 0/6 mm, y el agregado grueso de la fracción 6/19 mm.

La condición fue la de obtener un asentamiento para un hormigón bombeable con características de resistencias a la compresión tipo H-17, H-21 y H-35.

Los datos de los ensayos realizados se muestran en el APENDICE páginas 9, 10 y 11 Determinación de Densidades y Absorción de agua del agregado de Canteras San Agustín. APENDICE páginas 12, 13, 14 y 15 Dosificaciones de los hormigones tipo H-17. APENDICE páginas 16, 17, 18 y 19. Dosificaciones de los hormigones tipo H-21. APENDICE páginas 20, 21, 22 y 23 Dosificaciones de los hormigones tipo H-35.

7.1 Dosificación para un hormigón H-17

Los resultados obtenidos para el hormigón tipo H-17 se muestran en las Tablas N° 15, 16 y 17 que indican dosificación, asentamiento y resistencia a la compresión respectivamente; y en la Figura N° 43 se grafican los resultados de la evolución de la resistencia de la compresión con los días transcurridos.

Tabla N°15. Hormigón tipo H-17: dosificación

| MATERIAL | Dosificación Kg/m ³ | densidad g/cm ³ | volumen litros |
|--------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|
| triturado 0/6 mm | 1065 | 2,74 | 389 |
| triturado 6/19 mm | 857 | 2,72 | 315 |
| cemento blanco | 270 | 3,15 | 86 |
| agua | 208 | 1 | 208 |
| superfluidificante | 2,7 | 1,16 | 2,3 |
| | 2403 | | 1000 |

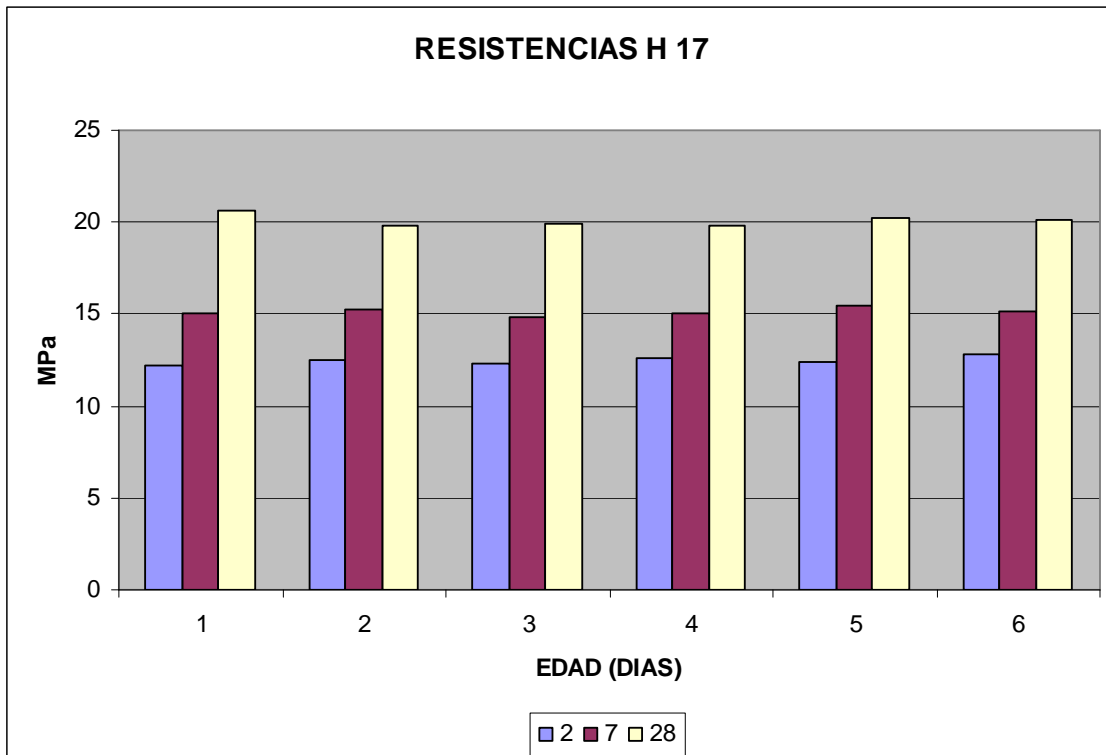
Tabla N°16. Hormigón tipo H-17: asentamiento

| tiempo | asentamiento |
|---------|--------------|
| minutos | cm |
| 5 | 12 |
| 30 | 10 |
| 60 | 6 |

Tabla N°17. Hormigón tipo H-17: resistencia a la c ompresión

| CODIGO HORMIGON | NUMERO PASTON | RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa) | | |
|-----------------|---------------|-----------------------------------|------|------|
| | | E D A D (DÍAS) | | |
| | | 2 | 7 | 28 |
| H-17 | 1 | 12,2 | 15 | 20,6 |
| H-17 | 1 | 12,5 | 15,2 | 19,8 |
| H-17 | 1 | 12,3 | 14,8 | 19,9 |
| H-17 | 2 | 12,6 | 15 | 19,8 |
| H-17 | 2 | 12,4 | 15,4 | 20,2 |
| H-17 | 2 | 12,8 | 15,1 | 20,1 |

Figura N°43. Evolución de la resistencia del hormi gón blanco tipo H-17.



7.2 Dosificación para un hormigón H-21

Los resultados obtenidos para el hormigón tipo H-21 se muestran en las Tablas N° 18, 19 y 20 que indican dosificación, asentamiento y resistencia a la compresión respectivamente; y en la Figura N° 44 se grafican los resultados de la evolución de la resistencia de la compresión con los días transcurridos.

Tabla N°18. Hormigón tipo H-21: dosificación

| MATERIAL | Dosificación Kg/m ³ | densidad g/cm ³ | volumen litros |
|--------------------|--|--------------------------------------|--------------------------|
| triturado 0/6 mm | 1050 | 2,74 | 383 |
| triturado 6/19 mm | 790 | 2,72 | 290 |
| cemento blanco | 320 | 3,15 | 102 |
| agua | 222 | 1 | 222 |
| superfluidificante | 3,2 | 1,16 | 2,8 |
| | 2385 | | 1000 |

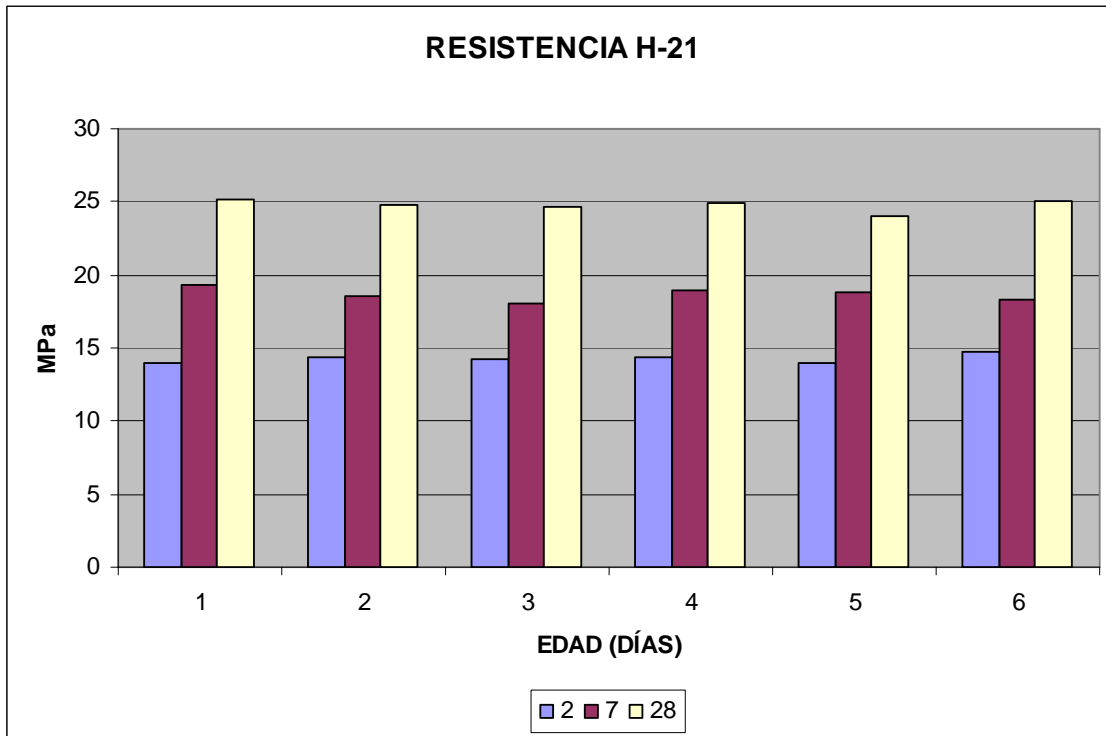
Tabla N°19. Hormigón tipo H-21: asentamiento

| tiempo minutos | asentamiento cm |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 5 | 14 |
| 30 | 10 |
| 60 | 6 |

Tabla N°20. Hormigón tipo H-21: resistencia a la compresión

| CODIGO HORMIGON | NUMERO PASTON | RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa) | | |
|----------------------------------|--------------------------------|--|----------|-----------|
| | | E D A D (DÍAS) | | |
| | | 2 | 7 | 28 |
| H-21 | 1 | 14 | 19,3 | 25,2 |
| H-21 | 1 | 14,4 | 18,6 | 24,8 |
| H-21 | 1 | 14,3 | 18,1 | 24,6 |
| H-21 | 2 | 14,4 | 19 | 24,9 |
| H-21 | 2 | 14 | 18,8 | 24 |
| H-21 | 2 | 14,7 | 18,3 | 25,1 |

Figura N° 44. Evolución de la resistencia del hormi gón blanco tipo H-21.



7.3 Dosificación para un hormigón H-35

Los resultados obtenidos para el hormigón tipo H-35 se muestran en las Tablas N° 21, 22 y 23 que indican dosificación, asentamiento y resistencia a la compresión respectivamente; y en la Figura N° 45 se grafican los resultados de la evolución de la resistencia de la compresión con los días transcurridos.

Tabla N° 21. Hormigón tipo H-35: dosificación

| MATERIAL | Dosificación Kg/m ³ | densidad g/cm ³ | volumen litros |
|--------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| triturado 0/6 mm | 955 | 2,74 | 349 |
| triturado 6/19 mm | 740 | 2,72 | 272 |
| cemento blanco | 400 | 3,15 | 127 |
| Agua | 250 | 1 | 250 |
| Superfluidificante | 4 | 1,16 | 3,4 |
| | 2349 | | 1001 |

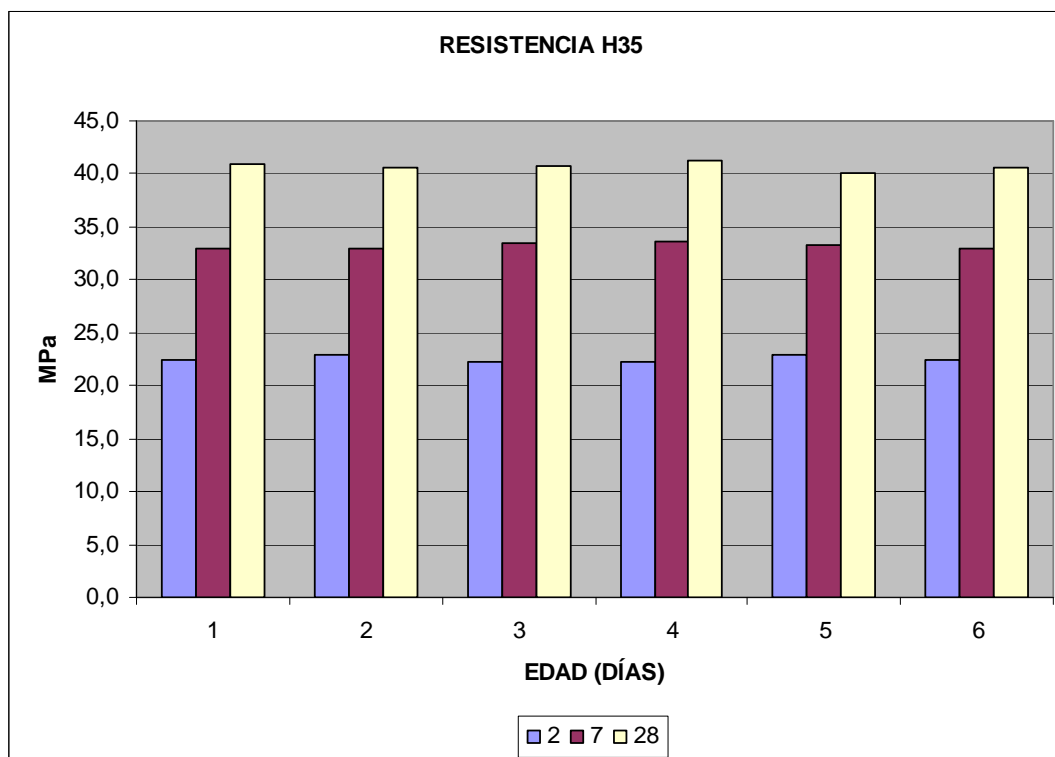
Tabla N°22. Hormigón tipo H-35: asentamiento

| tiempo | asentamiento |
|---------|--------------|
| minutos | cm |
| 5 | 14 |
| 30 | 8 |
| 60 | 4 |

Tabla N°23. Hormigón tipo H-35: resistencia a la c ompresión

| CODIGO | NUMERO | RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa) | | |
|----------|--------|-----------------------------------|------|------|
| | | E D A D (DÍAS) | | |
| HORMIGON | PASTON | 2 | 7 | 28 |
| H-35 | 1 | 22,4 | 33,0 | 41,0 |
| H-35 | 1 | 22,9 | 33,0 | 40,6 |
| H-35 | 1 | 22,3 | 33,5 | 40,8 |
| H-35 | 2 | 22,2 | 33,6 | 41,2 |
| H-35 | 2 | 23,0 | 33,2 | 40,0 |
| H-35 | 2 | 22,5 | 33,0 | 40,6 |

Figura N° 45. Evolución de la resistencia del hormi gón blanco tipo H-35.



8 DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Analizando el factor de los colores de la roca, y debido a que el objetivo del trabajo es localizar agregados de color blanco, cuando estos presentan tonos rosados y grises oscuros son descartados.

Considerando los factores económicos relacionados a los costos del agregado se puede decir lo siguiente: la necesidad de un bajo costo del agregado para la construcción, y teniendo en cuenta la continuidad en la producción de las plantas de agregados de la zona, la gran mayoría de los yacimientos de Córdoba se descartaron debido a que poseen costos muy altos de extracción y de transporte desde la cantera hasta las plantas de trituración.

Las empresas de trituración y molienda localizadas en Alta Gracia, en general no poseen explotación propia de canteras, sino que compran la roca a proveedores cercanos de la zona de Falda del Carmen y Bosque Alegre. Por lo tanto los costos de la roca de cantera que reciben en planta son muy elevados respecto a otras empresas que tienen canteras propias junto a la planta de agregados. Por lo que se descartan por sus altos costos y los bajos tonelajes que tiene estas industrias, aunque el color y la cubicidad de sus agregados sean ideales.

Los agregados blancos serán más económicos en donde se encuentren integrados los procesos de extracción en cantera con los de trituración y clasificación, como en Canteras Amadeo S.A., Canteras Dumesnil S.A. y Canteras San Agustín S.A.

Los costos de explotación de cantera, perforación, voladura y traslado a la planta de trituración, son los costos directos del agregado. También se debe tener en cuenta el costo de fletes y movimientos con pala cargadora para el acarreo de la roca de cantera hasta los acopios de una planta de trituración; y luego de ésta llevar el agregado a la planta

hormigonera. Los proveedores más convenientes van a ser aquellos que integren el yacimiento con la planta de trituración, debido a que optimizan sus costos en todas las etapas de producción.

Los valores de resistencia a la compresión de los materiales estudiados dan un promedio de 79,5 MPa. Si se compara con los valores de referencia para otras rocas, las calizas de Córdoba evaluadas tienen resistencias que superan a rocas blandas como tobas y calizas blandas, sin alcanzar los valores de las rocas graníticas o basálticas comúnmente utilizadas como agregados para hormigón. De las muestras evaluadas las que mostraron mayor resistencia son las de Canteras Dumesnil con 97,5 MPa, Canteras San Agustín 75,0 MPa y Canteras Amadeo 71,4 MPa.

Los resultados de los ensayos de absorción de agua son bajos, con valores entre 0,4 a 1 %; con excepción del yacimiento de DUMESNIL que alcanza un valor del 2 %. Como referencia se tienen otros ensayos realizados por la Dirección Provincial de Vialidad (DPV) de Santa Fe con material del yacimiento de Canteras SAN AGUSTIN: piedra partida 6/19 mm = 0,5%, y para la fracción 10/30 mm = 0,3 %.

Para la Cantera de San Agustín se compararon los resultados del ensayo de Desgaste con la Máquina de Los Ángeles en pruebas realizadas en la DPV de Santa Fe; el material 6/19 mm = 26%; material 10/30 mm = 26%; y en la DPV de Córdoba para el 6/19 mm = 28.1%. Los valores obtenidos en el presente trabajo son algo superiores, probablemente debido a los avances de los frentes de canteras.

De acuerdo al Reglamento de Hormigones del CIRSOC, el agregado grueso tendrá una pérdida igual o menor que el 50 %. En el caso de hormigones expuestos a abrasión debida al transporte vehicular intenso, resbalamiento de materiales a granel y escurrimiento rápido

de agua con elementos en suspensión, el agregado grueso a emplear en su ejecución, al ser sometido al ensayo de desgaste, debe arrojar una pérdida igual o menor al 30 %.

Del punto de vista de posibles reacciones expansivas en el hormigón (del tipo reacción álcali carbonato RAC), de acuerdo al análisis petrográfico no se presentan minerales potencialmente reactivos.

Considerando el factor de forma o cubicidad del agregado, el material de la fracción 6-19 mm presenta un buen factor para todas las plantas de trituración.

Respecto a los análisis de Pérdidas por Lavado, la fracción 3/8" de Canteras San Agustín presenta un valor que excede al admitido en la norma IRAM 1540; este factor puede estar influenciado por el muestreo de las pilas de acopio por material segregado. Mientras que las otras fracciones cumplen perfectamente el requisito de IRAM, al igual que las otras plantas.

De los análisis granulométricos realizados en las muestras de los agregados de Canteras San Agustín, se puede ver que la fracción 3/8" se presenta algo más fina respecto a la curva normalizada para hormigones. Y por otra parte la fracción 0-6 mm de la arena de trituración contiene un alto contenido de material inferior al tamiz N°100 (0,150 mm).

Considerando los valores de resistencia para los hormigones realizados se puede decir que estos son superiores a los calculados teóricamente. Los valores promedio para los hormigones H-17, H-21 y H-35 son 21 MPa, 25 MPa y 42 MPa respectivamente. Es posible entonces reducir la cantidad de cemento blanco para aproximar al valor teórico.

Las relaciones agua cemento utilizadas (a/c 0,8; 0,7 y 0,6 para H-17, H-21 y H-35 respectivamente) resultan superiores a las recomendadas, pero las mismas fueron necesarias para los valores de asentamiento de una condición de hormigón bombeable. Sin

embargo los valores de resistencia no se vieron afectados.

Los valores de asentamiento del hormigón fresco permiten mostrar la efectividad del aditivo superfluificante dentro de los tiempos normales.

9 CONCLUSIONES

De la comparación de los resultados de ensayos de resistencia a la compresión de la roca, se puede concluir que los valores más altos se presentan en la roca de Canteras Dumesnil (> 95,0 MPa); mientras que los restantes presentan valores de resistencia a la compresión de la roca entre los 70,0 MPa y 80,0 MPa.

Los análisis de absorción de agua muestran que la roca de VERDOL S.A. es la de más baja absorción (promedio 0,6 %), seguidos por los agregados de Canteras Amadeo (promedio 0,8%). Mientras que los mayores valores se presentan en los agregados de Canteras San Agustín S.A. con un promedio de 1,25 %.

El análisis de los valores de absorción de agua permite confirmar que las calizas metamórficas de Córdoba, cálcicas o dolomíticas, son muy compactas y con una absorción adecuada para usar como agregados para hormigón.

Del punto de vista del ensayo de resistencia al desgaste con la máquina de Los Ángeles, el mejor valor lo presenta el material de Canteras Amadeo con 27,7 % de resistencia. Mientras que los restantes podemos agruparlos entre 30 % y 40 % a los materiales de Dumesnil, Alta Gracia y San Agustín; y finalmente califican > 40 % Blancaley y VERDOL S.A.

Del punto de vista de la forma de los agregados de las plantas analizadas, se puede ver que todas tienen un factor de cubicidad similar; por ejemplo el factor de cubicidad 0,8 caracteriza a los agregados 6-19 mm de San Agustín, Blancaley y Alta Gracia. Mientras que el agregados 3/8" presenta un factor de cubicidad 0,7. Estos valores se consideran adecuados para el uso de agregados para hormigones.

De acuerdo a los análisis de pérdida por lavado sobre # 200, la fracción de agregados 6-19

mm más limpia se presenta en Alta Gracia (0,4%); mientras que el mayor valor lo presenta el agregado 6-19 mm de San Agustín con 1,3 %. Estos valores son normales de encontrar en agregados obtenidos por trituración. Pero los valores de la fracción 3/8" de los agregados presentan valores mayores, llegando al 6,1 % en Canteras San Agustín. El dato obtenido de la fracción arena de trituración 0-6 mm de Canteras San Agustín tiene un 2,9 % de pérdida por lavado, que es normal en arenas obtenidas por este proceso.

Los análisis granulométricos realizados con los agregados de Canteras San Agustín, que luego serían utilizados en las dosificaciones de hormigón blanco, muestran que las fracciones 6-19 mm y 3/8" se encuentran dentro de los límites establecidos. Mientras que la fracción de arena de trituración 0-6 mm tiene el mayor contenido en finos pasantes el tamiz N°100 (0,150 mm); esto es propio de las arenas obtenidas por trituración.

Del punto de vista petrográfico las rocas estudiadas no presentan minerales potencialmente reactivos con los cementos portland, ni minerales de alteración que perjudiquen al hormigón, por lo tanto se califican como aptas para ser utilizadas como agregados para hormigón blanco.

Los tipos de rocas van a calificar al agregado como más blanco o más oscuro con relación al interés del hormigón blanco. Las rocas de mayor blancura se presentan en Alta Gracia (blanco puro) y Bosque Alegre; luego califican los agregados de Canteras San Agustín, Canteras Dumesnil (blancos); y por último se agrupan los agregados blanco amarillento, verdosos, rosados y grises de Canteras Amadeo, Blancaley, Valle Hermoso, Pampa de Olaen, y Quilpo.

Los resultados obtenidos de los hormigones blancos con los agregados de Canteras San Agustín cumplen con las expectativas de calidad, y además resultan de un color blanco bien diferenciado respecto al hormigón gris tradicional.

De acuerdo a la evaluación de la resistencia a la compresión simple de la roca, y a las propiedades de los agregados evaluados de acuerdo a los requisitos de la norma IRAM, las canteras estudiadas son aptas para proveer agregados para hormigones con cemento blanco.

El ejemplo de hormigones realizados con los agregados de Canteras San Agustín se puede aplicar para los agregados de las otras plantas como en Canteras Amadeo o Canteras Dumesnil, porque siempre se realizan las pruebas para el ajuste de dosificación antes de la ejecución de un hormigón elaborado.

Las otras canteras y yacimientos se consideran agregados potenciales de aplicar en hormigón blanco debido a que no cuentan con instalaciones de plantas de trituración para agregados, pero por sus propiedades son aptos para hormigón elaborado blanco.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aalborg White Research and Development Centre (2000). Aesthetic durability of white concrete structures. 37 pág.

Aalborg White Research and Development Centre (2000). Concrete surfaces. 19 pág.

Aalborg White Research and Development Centre (2000). White concrete technology – a world of possibilities. 11 pág.

Benítez A. (2002). Avances en la utilización del cemento blanco con fines arquitectónicos y estructurales. Jornada de Capacitación Tecnológica N°4. Investigación, desarrollo y su aplicación en la industria de la construcción. INTI CECON.

Batic, O. R.; C. Cortelezzi; P. J. Maiza; S. A. Marfil; C. A. Milanesi y R. Pavlicevic (1991). Reacción deletérea de algunas rocas dolomíticas en hormigones. 10ª Reunión Técnica de la A.A.T.H. Olavarría, II, pág. 95-114.

Batic, O.; Mangin N.; Marfil, S. A.; Maiza P. J. y Sota J. (2004). Utilización de agregados blancos en la elaboración de hormigón arquitectónico. Sinergia 2004. XVII Congreso argentino de mecánica de suelos e ingeniería geotécnica. III Congreso argentino de presas y aprovechamientos hidroeléctricos. VII Simposio de geología aplicada a la ingeniería y al medio ambiente. III Simposio argentino de mecánica de rocas. V Reunión sobre preparación y uso de mapas temáticos. Córdoba. Editado en CD. 6 Pág.

Benitez A.; Bálzamo H.; Migoya E. (2000). Estudio comparativo de compatibilidad y comportamiento de hormigones con cemento blanco. Congreso de Ingeniería 2000. Estructuras, materiales y técnicas constructivas para el siglo XX I. Editado en CD.

Benítez A.; Bálzamo H.; Migoya E. (2001). Hormigones de alta prestación elaborados con cemento gris y cemento blanco. 14º Reunión Téc. AATH, Tomo 1, pág. 157-164.

Benítez A.; Bálzamo H.; Migoya E. (2002). Estudio de hormigones convencionales elaborados con cemento gris y cemento blanco utilizando un aditivo de doble efecto. 4º Jornadas de Desarrollo e Innovación; 2 pág.

Bonalumi A; Escayola M.; Kraemer P.; Baldoy E.; Martino R. (1999). Sierras Pampeanas (Córdoba, Santiago del Estero). 1) Precámbrico-Paleozoico inferior de las Sierras de Córdoba. Instituto de Geología y Recursos Minerales. En Geología Argentina. Anales 29 (6); pág. 136-140.

Cailleux, A. (1978). Las Rocas, editorial Universitaria de Buenos Aires; 71 pág.

Caminos, R. (1999). Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales N°29. SEGEMAR, Buenos Aires; 795 pág.

Cassar, L., Pepe C., Tognon G., Guerrini, G., Cangiano S., Goisis M. (2000). Cemento blanco para concreto de alto desempeño. Industria Italiana del Cemento.

Chuet-Missé P. (2005). Hormigón Blanco. Revista Hormigonar, año 2, número 6; pág. 40-44.

Domínguez M.; De Maio B. (1990). Rocas de aplicación. Ensayos de caracterización tecnológica. XI Congreso Geol. Arg., San Juan, Actas I, pág. 414-417.

Esparza M, (2005). Estructura de Hormigón blanco. Revista Hormigonar, año 3, edición 7, diciembre; pág. 66-67.

García San Martín J. M. (1999). El Hormigón Blanco. Nueva terminal del Aeropuerto de Sondika; 8 pág. (Informe inédito).

López A.; Tobes J.; Torrijos M.; Barragán B.; Giaccio G.; Zerbino R. (2007). Effect of pigments on the rheological properties of mortars for self-compacting concrete; 6 pág. (Comunicación verbal).

López A.; Tobes J.; Zerbino, R. (2007). Diseño de hormigón autocompactante coloreado (HACC); 9 pág. (Comunicación verbal).

Mangin, N. (2008). Áridos de mármol para hormigón con cemento blanco. I Congreso Argentino de Áridos. I, pág. 375-382.

Mas V., Carcelén R., García Gasco S., Pelayo M. (2008). Del Hormigón Gris al Blanco: el reto de la expresividad; pág. 231-237. En Blanco II, <http://arquitecturablanca.com>

Migoya E., Berrotarán C., Tosi D., (1997). Comportamiento y Características del Hormigón elaborado con Cemento Portland Blanco. Primer Seminario de Tecnología del Hormigón en la Vivienda del Mercosur, Santa Fe.

Milanesi C.A.; S.A. Marfil; O.R. Batic and P.J. Maiza (1996). The alkali-carbonate reaction and its reaction products. An experience with Argentinean dolomite rocks. Cement and Concrete Research. Ed. Elsevier. USA Vol. 26 N°16. pág. 1579-1591.

Norma ASTM C1038-2004. Standard Test Method for Expansion of Hydraulic Cement Mortar Bars Stored in Water; 6 pág.

Norma IRAM 1504-1986. Cemento pórtland. Análisis químico; 46 pág.

Norma IRAM 1505-2005. Agregados. Análisis granulométrico; 12 pág.

Norma IRAM 1532-2000. Agregados gruesos. Ensayo de desgaste en la máquina de Los Ángeles; 12 pág.

Norma IRAM 1533-2002. Agregados gruesos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa, densidad relativa aparente y absorción de agua; 12 pág.

Norma IRAM 1540-2004. Agregados. Método de ensayo del material fino que pasa por el tamiz IRAM 75 µm, por lavado; 10 pág.

Norma IRAM 1549-2004. Agregados. Método de ensayo del material fino que pasa por el tamiz IRAM 75 µm por lavado.; 10 pág.

Norma IRAM 1622-2006. Determinación de Resistencia mecánicas. 22 pág.

Norma IRAM 1649-2008. Examen petrográfico de agregados para hormigón. 18 pág.

Norma IRAM 1681-1981. Agregado grueso. Método de determinación del factor de cubicidad; 12 pág.

Norma IRAM 10502-2007. Geotecnia. Método de determinación del límite líquido y del límite

plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad; 14 pág.

Norma IRAM 10607-2008. Geotecnia. Método de determinación de la resistencia a la compresión uniaxial, del módulo de elasticidad y del coeficiente de Poisson en probetas de roca; 15 pág.

Norma IRAM 50000-2000. Cemento para uso general. 28 pág.

Norma IRAM 50001-2000. Cemento con propiedades especiales. 12 pág.

Perales E. (2008). Historia y actualidad del cemento. <http://www.abacistas.com>. Madrid. 23 pág.

Ramos V. (1999). Las provincias geológicas del territorio argentino. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Geología Argentina. Anales 29 (3). Buenos Aires, pág. 41-96.

Reglamento CIRSOC 201 y Anexos (2002). Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de hormigón armado y pretensado. 348 pág.

Rodríguez A.; Mangin N.M.; Najera J.; Gaytan C. (2000). Hormigón blanco de alta performance con cemento portland blanco estructural. Congreso de Ingeniería 2000. Estructuras, materiales y técnicas constructivas para el siglo XXI. Buenos Aires; pág. 411-418. Editado en CD.

Simian C.; Simian F.; Cuello M.; Rissi S. (2001). Uso de agregados calcáreos en hormigones estructurales blancos y de color. Publicación CIATH, UNC; 13 pág.

Sfragulla, J; Jerez, D; Bonalumi A. (1999). Mármoles y otras rocas carbonáticas de Córdoba. Recursos Minerales de la República Argentina. SEGEMAR. Anales 35, Buenos Aires, pág. 271-295.

Traversa, L; Di Maio, A; Rosato, V; Iloro, F. Arquitectura moderna en la pampa argentina: diagnóstico y restauración de portales de cementerio construidos en la década de 1930. Apuntes. Vol. 21, núm. 2 (2008), pág. 194-205.

www.afcp.org.ar

www.cement.org/decorative

www.googleearth.com

11 APENDICE