

Trabajo final Licenciatura en Geología

Rocas Ornamentales Sedimentarias del
Uruguay: potencialidad, viabilidad y estado de
deterioro

Estudiante: Leonardo Leite

Tutora: Dra. Manuela Morales Demarco

Febrero 2020

Índice

Objetivos.....	3
Rocas Ornamentales.....	4
Areniscas como Roca Ornamental	10
Conglomerados como Roca Ornamental	17
Deterioro y Conservación de Rocas Ornamentales.....	18
Glosario deterioros ICOMOS-ISCS	23
Geología de los Conglomerados	25
Geología de las Areniscas	27
Caracterización tecnológica de Rocas Ornamentales	29
Antecedentes.....	37
Antecedentes geológicos.....	37
Conglomerado - Fm. Las Ventanas	37
Arenisca - Fm. Rivera (Fm. Tacuarembó – Miembro Superior).....	41
Aplicaciones de las rocas estudiadas.....	44
Antecedentes técnicos de rocas ornamentales	45
Metodología	47
Resultados	49
Conglomerado Las Ventanas	49
Arenisca Tacuarembó	54
Propiedades físicas y mecánicas.....	59
Estado de deterioro	62
Discusión.....	77
Conclusiones.....	85
Bibliografía.....	87
Anexo.....	97

Índice de figuras

Figura. 1. Ejemplos de construcciones emblemáticas, construidas con rocas ornamentales. a: Dolmen de Pentre Ifan [^] , Gales (foto de Helge Klauss Rieder); b: Piramide de Jafra, Egipto (fuente: positphotos.com); Acueducto de Segovia, España (fuente: National Geographic); Empire State Building, Estados Unidos (fuente: newyorkyimby.com).	5
Figura. 2. Templo de Al-Jazneh, Petra, Jordania. Labrado en la propia roca arenisca. (Fuente: Limes.Media, autor Tim Schnarr)	11
Figura. 3. Mezquita anexo, Taj Mahal (Agra, India), construida con arenisca rojiza, entre otras rocas. a) Vista frontal (foto de Ko Hon Chiun Vincent); b) Vista lateral (fuente: pixabay.com).	12
Figura. 4. Algunas edificaciones que emplean arenisca en USA. a) Red Jacket Fire Station (foto de Andrew Jameson); b) St. Paul Church (fuente: Wikipedia); c) sector interno del The United States Capitol Building (fuente: aoc.gov).....	13
Figura. 5. Vista exterior de la Galería de Arte de Nueva Gales del Sur construida con Arenisca Sydney. (Fuente: timeout.com)	14
Figura. 6. Fachada exterior de la Catedral de Worcester, Inglaterra, donde fue empleada la Arenisca Highley. (Fuente: Trover.com).....	15
Figura. 7. Macetas elaboradas con roca arenisca. (Fuente: Indiamart, 2020)	16
Figura. 8. Columna elaborada con conglomerado El Turro, Palacio de Carlos V (Granada, España). (Fuente: Ayuntamiento de Chauchina, 2017)	18
Figura. 9. Escala granulométrica de Udden-Wentworth. Modificado de Wentworth 1922	26
Figura. 10. a) Diagrama de clasificación propuesto por Dott (1964); b) Diagrama de clasificación Pettijohn (1975). Modificado de Dott, 1964	28
Figura. 11. a) Imagen representativa de cuerpo para determinar la resistencia a la compresión uniaxial. b) Esquema representativo de las fallas que ocurren en la roca a través de una combinación de grietas de tensión y corte. F = fuerza de carga. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011)	33
Figura. 12. Prueba de resistencia a la tracción o “ensayo brasileño”. a) Diagrama esquemático. b) Imagen de la configuración experimental del cuerpo rocoso. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011)	34
Figura. 13. a) Imagen de la configuración experimental para la determinación de la resistencia a la flexión. b) Representación esquemática de la configuración con regiones de compresión y tensión indicadas donde F es la dirección de la fuerza de carga. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011)	35
Figura. 14. a) Foto de la configuración con la muestra cúbica presionada sobre el disco giratorio. b) Representación esquemática de la abrasión en el contacto donde se empuja la muestra de roca con fuerza constante F sobre la molienda en movimiento rueda. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011) 36	
Figura. 15. a) Foto de la configuración experimental para probar la resistencia al anclaje. b) Muestra de roca con el “clavo” introducido en la posición central de la cara. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011).	36
Figura. 16. Mapa geológico de la Fm. Las Ventanas. Tomado Blanco & Gaucher (2014)	40
Figura. 17. Mapa geológico de la Fm. Rivera (Modificado de Bossi et al. 1998)	43
Figura. 18. Placa pulida de Conglomerado Las Ventanas (centro). Destaca el buen brillo que la roca alcanza al ser pulimentado.	45
Figura. 19. Rango de densidades aparentes para areniscas (Mosch & Siegesmund (2007) y Mosch (2009))	46
Figura. 20. Rango de valores de resistencia a la abrasión para diferentes rocas, según el método Böhme. Modificado de Siesgmund & Dürrast, 2011	47
Figura. 21. Mapa de ubicación de los edificios relevados en este trabajo	48
Figura. 22. Imagen ilustrativa de la zona (rectángulo blanco) y puntos de observación de bochas de conglomerado.	49

Figura. 23. a y b) Afloramientos característicos de Conglomerado Las Ventanas (Estancia La Celina, X:550354; Y: 6164039).	50
Figura. 24. Placa pulida de Conglomerado Las Ventanas. Sobresale el buen brillo que la roca adquiere al ser pulida.	51
Figura. 25. Conglomerado Las Ventanas visto en microscopio óptico. a y b) Fragmento de clasto granítico, visto con luz polarizada plana y con polarizadores cruzados, respectivamente. c y d) Clasto de traquita en luz polarizada plana y con polarizadores cruzados. e y f) Vista de la matriz arenosa de esta roca. g y h) Vista en detalle de la composición de la matriz, distinguiéndose hacia el centro de las imágenes mineral de zircón.....	53
Figura. 26. Ubicación de Cantera Rufo, lugar de extracción de la arenisca estudiada. a) Imagen Google Earth mostrando la ubicación geográfica de la cantera donde se extrae la Arenisca Tacuarembó. b) Fragmento de la carta geológica presentada por Bossi et al. (1998) con la ubicación de la Cantera Rufo	54
Figura. 27. a) Vista general de cantera de arenisca de Giuseppe Rufo. b) Bloque de arenisca extraído en cantera.....	55
Figura. 28. Muestra de mano correspondiente a Arenisca Tacuarembó.	56
Figura. 29. Arenisca Tacuarembó visto en microscopio óptico. a y b) Textura general de la roca visto en luz polarizada plana y polarizadores cruzados, respectivamente. c y d) Vista en detalle de granos de Qz y Fd. e y f) Fragmentos líticos en luz polarizada plana y polarizadores cruzados. g y h) Vista de los tipos de cementos en esta roca.	58
Figura. 30. Sistema de referencia para ensayos mecánicos (n: cantidad de especímenes por dirección y por ensayo). Aquí se plantea las configuraciones de esfuerzos aplicados y resultantes sobre una hipotética muestra estudiada para diferentes ensayos. Modificado de Strohmeier, 2003.	61
Figura. 31. Algunos de los deterioros reconocidos en el Hotel Radisson. Como se observa, es evidente el recubrimiento de pintura y revoque en algunos casos. a) Erosión diferencial y graffiti (letras en color verde); b) Pieza faltante, grietas, redondeamiento y enmugrecimiento; c) Perforación (presuntamente había una placa metálica en ese lugar); d) Erosión diferencial, grietas y mancha de humedad. Como se observa en esta placa la reparación es notoria, siendo un recubrimiento de material faltante mediante revoque y posterior cobertura con capa de pintura. Dimensiones placas, 108x75 cm (a y c), 113x108 (d)	65
Figura. 32. Imágenes de fachada exterior Hotel Radisson. a) Graffiti, erosión diferencial; b) Manchas de humedad, decoloración asociada a la remoción de graffiti, perforación. Dimensiones placas 108x75 cm.	66
Figura. 33. Imágenes de deterioros en fachada exterior Edificio ANCAP; a) Ejemplos de graffiti y perforación en placas de la roca en fachada este; b) Erosión diferencial, plantas, perforación, entre otros deterioros en porción de fachada este; c) Enmugrecimiento, en fachada oeste del edificio; d) Faltante, perforación, y demás deterioros en porción norte; e) Tinción de la roca por oxidación de elementos metálicos (números); f) Colonización biológica en fracción delantera de la edificación por debajo de película de barniz. Dimensiones placas 133x68 cm (a y b).....	70
Figura. 34. Fachada norte Edificio ANCAP. a) Porción de fachada donde se distinguen variados tipos de deterioros, grietas, perforaciones, faltantes, erosión diferencial, entre otros; b) Hilera de placas con mayor concentración de deterioro, en extremo noreste de la edificación a una altura aproximada de 20 – 30 metros, quedando expuesta presumiblemente la estratificación original de la roca; c) Sector con gran densidad de ampollas y cristalización de sales. Dimensiones placas 133x68 cm	71
Figura. 35. Algunos tipos de deterioros identificados en la fachada exterior de la Iglesia Matriz. a) Erosión, grietas, disyunción de películas, colonización biológica; b) Disgregación granular (centro), eflorescencia y biocolonización; c) Descamación de la roca, asociada a cristalización de sales (eflorescencia); d) Biocolonización de musgos y líquenes.	75
Figura. 36. Vistas parciales de fachada exterior de Iglesia Matriz a) Grieta vertical en sector superior de columna exterior, recubrimiento superficial de pintura en su totalidad y colonización biológica en base; b) Deterioros (redondeamientos, eflorescencias, manchas de humedad, entre otros) en sectores	

superiores de columnas; c) Perforación e inserciones metálicas en placa de roca); d) Alteración cromática, perforación, erosión y faltante en una de las placas. Dimensiones placas 50x67 cm (a) y 82x67 cm (d)..... 76

Índice de tablas

Tabla 1. Producción histórica de rocas ornamentales a nivel mundial hasta 2016. Modificado de Montani, 2017	7
Tabla 2. Relación entre terminología científica y comercial. Modificado de Arias, 2015.....	9
Tabla 3. Principales aplicaciones de las Rocas Ornamentales en el mundo año 2016. Modificado de Montani, 2017	10
Tabla 4. Valores físicos y mecánicos de algunas rocas ornamentales uruguayas. (Tomado de Morales Demarco et al. 2010, 2012 y 2012b)	45
Tabla 5. Propiedades físicas y mecánicas de diferentes areniscas de Alemania y Tailandia. (Tomado de Siegesmund & Dürrast, 2011).....	46
Tabla 6. Propiedades físicas y mecánicas del Conglomerado Las Ventanas.....	59
Tabla 7. Propiedades físicas y mecánicas de la Arenisca Tacuarembó.....	60
Tabla 8. Deterioros según ICOMOS reconocidos en el Hotel Radisson	64
Tabla 9. Deterioros según ICOMOS reconocidos en Edificio ANCAP	69
Tabla 10. Deterioros según ICOMOS reconocidos en Iglesia Matriz	74
Tabla 11. Valores físicos de rocas ornamentales uruguayas. (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011)	78
Tabla 12. Comparativa de valores físicos entre la Arenisca Tacuarembó y otras areniscas (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011).....	78
Tabla 13. Comparación de valores de resistencia a la compresión uniaxial (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011).....	79
Tabla 14. Comparación de valores de resistencia a la tracción. (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011).....	80
Tabla 15. Comparación de valores de resistencia a la flexión (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011).....	80
Tabla 16. Relación de valores de resistencia a la abrasión de la Arenisca Tacuarembó, con otras rocas ornamentales uruguayas. (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011)	81
Tabla 17. Relación de valores de propiedades mecánicas de la Arenisca Tacuarembó y otras areniscas del mundo. Tomado y modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011	82

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer especialmente a mi tutora Dra. Manuela Morales Demarco por haber posibilitado el desarrollo de esta investigación desde un principio (desde el PAIE, a partir del 2015) y el apoyo brindado en todo momento.

El agradecimiento a mi familia que desde siempre estuvo apoyando y en esta etapa más que nunca. A mis padres, hermanos/as, tíos/as, abuelos/as y primos/as el reconocimiento y eterna gratitud por todo lo que me han brindado para el cumplimiento de este sueño.

Mi gratitud con aquellos amigos de toda la vida, en especial a Joaco y Agu, que sin dudas han sido una gran fuente de apoyo en este camino. A los geoamigos que supimos hacer en todo este proceso, en especial a Karen, Javier, Pedro, Juan Martín, Seba, Diego. Que son parte importante en todos estos años y más que destacado con lo que uno se queda. Además a Alejandro, compañero del PAIE y demás compañeros a lo largo de la carrera.

También quiero agradecer al Dr. Marcos Musso por haberme proporcionado la oportunidad de haberme integrado a su equipo de trabajo durante más de un año, y por todos los conocimientos y sugerencias brindadas. Continuando esta línea, reconocer nuevamente a la Dra. Manuela Morales Demarco por la ocasión brindada.

Por último, a todos los docentes de la Licenciatura en Geología y de otros cursos, los cuales han contribuido de gran manera a mi desarrollo personal.

Resumen

Las rocas ornamentales son recursos naturales de enorme relevancia en la historia de la humanidad. Son definidas como rocas sometidas a un proceso industrial por el que han sido desbastadas para ser utilizadas como materiales de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario, entre otros. En Uruguay, el uso de rocas ornamentales nacionales es muy común, encontrándose en la mayoría de los edificios emblemáticos (Fortaleza de Santa Teresa, Palacio Legislativo). Asimismo, existen otras edificaciones que emplean rocas de origen sedimentario (Arenisca Tacuarembó), como el Edificio de ANCAP, Catedral de Montevideo, Radisson Victoria Plaza Hotel.

El principal objetivo de este trabajo fue estudiar dos rocas uruguayas de origen sedimentario (Conglomerado Las Ventanas y Arenisca Tacuarembó) desde un punto de vista ornamental, a partir de la caracterización de sus propiedades petrográficas, físicas y mecánicas, y su vínculo con el estado de deterioro (Arenisca Tacuarembó) y potencial uso ornamental (Conglomerado Las Ventanas). Fueron estudiados tres edificios que usan esta roca como revestimiento exterior, con un estado de deterioro considerable. Los valores físicos y mecánicos del Conglomerado Las Ventanas son semejantes al de rocas graníticas, esto habilita a considerar que el espectro de utilización de esta roca es amplio (columnas, revestimientos de paredes externas e internas, pisos, elementos decorativos, entre otros). Las características técnicas de la Arenisca Tacuarembó (elevada porosidad, baja resistencia a tensiones y elevado desgaste por abrasión) y el evidente estado de deterioro en las edificaciones donde ha sido empleada determinan que el uso óptimo de esta roca sea exclusivo a revestimientos de paredes interiores.

Introducción

La presente investigación corresponde al Trabajo Final de la Licenciatura en Geología (Facultad de Ciencias, Universidad de la Republica). El mismo tiene sus bases en el Proyecto PAIE 2015 “Rocas ornamentales en el patrimonio arquitectónico de Montevideo: influencia de sus propiedades petrográficas, físicas y mecánicas en su conservación”, en donde se estudiaron cuatro rocas (Arenisca Tacuarembó, Conglomerado Las Ventanas, Mármol Artigas y Mármol Blanco Perla) con fines ornamentales. En este trabajo se ahonda en el estudio de dos de estas rocas (Conglomerado Las Ventanas y Arenisca Tacuarembó), y se presentan los resultados de sus características petrográficas, físicas y mecánicas y su vínculo con el estado de deterioro, potencialidad y su uso óptimo.

El enorme impacto generado a partir de la Revolución Industrial trajo consigo cambios en la matriz productiva que ocasionaron un “éxodo” de personas desde los sectores rurales a centros poblados o ciudades. Esto contribuyó de gran manera en diversos sectores de la economía, fundamentalmente al incremento de la industria de la construcción civil, siendo esta, una de las más destacadas e influyentes industrias en los países hasta la actualidad. A partir de esta, se movilizan gran cantidad de insumos y se fomenta la creación de empleos directos e indirectos, representando, según *Abdullahi (2014)* el 6% del total de empleos en países en vía de desarrollo y 10% en países desarrollados (Burgos et al, 2016). De esta forma, la industria de la construcción civil constituye porcentajes considerables del producto bruto interno (PBI) de los estados, representando en nuestro país en promedio el 8% PBI en el período comprendido entre 1992 y 2016 (Diario EL PAIS Uruguay, 2018). El continuo desarrollo de esta industria, entre otros relevantes factores, está directamente ligado al aprovechamiento de los recursos naturales disponibles y a la forma que estos son empleados, por lo tanto, para la obtención de un mayor beneficio es de vital importancia determinar y considerar los aspectos técnicos de estos recursos cuando son utilizados.

En la industria de la construcción civil destaca el empleo de las rocas ornamentales. Las definiciones sobre estas rocas son variadas, aunque en su concepción más general todos los conceptos hacen referencia a una roca que ha sido sometida a un proceso industrial por el que ha sido desbastada o cortada de determinada manera con o sin una o algunas superficies labradas mecánicamente, pulimentadas, etc., para ser utilizadas como materiales nobles de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario, entre otros (Stein, 2004; ABIROCHAS, 2009; Frascá, 2010; ABNT, 2013; ASTM, 2019). Las rocas ornamentales han formado parte del patrimonio arquitectónico de la humanidad desde tiempos inmemorables, existiendo múltiples y variados casos o ejemplos en los cuales este recurso mineral ha sido empleado y ha

obtenido una gran relevancia en la historia de las distintas civilizaciones, siendo vistas por los soberanos de diferentes generaciones como un arquetipo de poderío, importancia y trascendencia en el tiempo, fundamentado por razones estéticas de las mismas pero también por su resistencia y durabilidad. Actualmente, el enfoque del empleo de las rocas ornamentales en la construcción civil no es el mismo que en el pasado ya que pasa de ser usado como un elemento con preponderancia estructural (además de revestimiento) a una función centrada básicamente en el revestimiento de fachadas, pisos y paredes en interiores o exteriores.

En Uruguay, el uso de las rocas ornamentales es extendido, pudiéndolas encontrar en diferentes sitios y construcciones como en edificios icónicos del país. Desde la muralla de Montevideo, 1741 (Intendencia de Montevideo., 2018), el Fuerte de San Miguel y la fortaleza de Santa Teresa, construidas en 1737 y 1762, respectivamente (Turismo Rocha, 2017) y más cercano en el tiempo, el Palacio Legislativo, Teatro Solís, Edificio de ANCAP y el Palacio Salvo en Montevideo. Mientras que en el interior del país, en ciudades como Piriápolis se emplean sienitas en parte de la rambla y puerto (explotadas por el propio Francisco Piria), en Colonia la Terminal de Ómnibus, revestida con la Arenisca Tacuarembó, y además en múltiples plazas y lugares públicos de todo el país. Por consiguiente, es de considerable importancia en relación al patrimonio histórico conocer las particularidades de las mismas. Y si bien muchas de estas rocas ya han sido estudiadas y caracterizadas petrográficamente, física y mecánicamente (Morales Demarco, 2012), existen otras, como la Arenisca Tacuarembó (ampliamente utilizada como revestimiento exterior e interior) y el Conglomerado Las Ventanas (uso potencial), cuyo estudio aún requiere mayor profundidad. Por lo tanto, en este trabajo se hará énfasis en la descripción y análisis de las características petrográficas, y propiedades físicas y mecánicas de estas dos rocas de origen sedimentario, así como su uso histórico en edificaciones, con el fin de ahondar en la determinación de la viabilidad del uso de las mismas como rocas ornamentales y su hipotético potencial económico.

Objetivos

General:

Estudiar dos rocas de origen sedimentario de Uruguay desde un punto de vista ornamental, caracterizando sus propiedades petrográficas, físicas y mecánicas, y determinando su uso óptimo.

Específicos:

- A. Caracterizar la petrografía de la Arenisca Tacuarembó y del Conglomerado Las Ventanas.
- B. Caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de las rocas a estudiar.
- C. Evaluar el potencial ornamental del Conglomerado Las Ventanas.
- D. Registrar el uso histórico de las rocas como elementos ornamentales.
- E. Registrar fotográficamente el uso actual y estado de deterioro de las rocas a estudiar.
- F. Determinar el uso óptimo de la Arenisca Tacuarembó y del Conglomerado Las Ventanas.

Rocas Ornamentales

Las rocas ornamentales son recursos naturales de enorme importancia y trascendencia como materiales dentro de la industria de la construcción, de tal manera el empleo de las mismas viene vinculado a esta industria desde que el ser humano comienza a manipular las rocas en el Neolítico (Card, 2010). Las particulares características de las rocas, como la facilidad de moldear o manejar, durabilidad y belleza pueden constituir uno de los motivos que expliquen el desarrollo y crecimiento del uso de las mismas, ya que se encuentran enlazados con el sentimiento de poder, trascendencia y preponderancia que tenían los monarcas y soberanos de diferentes épocas y que ven en las rocas ornamentales reflejado su estatus. Además, las rocas ornamentales, tienen un fuerte vínculo con el sentido artístico y arquitectónico. A lo largo de la historia se definen diferentes épocas arquitectónicas según diferentes acontecimientos históricos, caracterizando cada una de ellas por tener un tipo de construcciones o arquitectura en particular, donde las rocas adquieren enorme trascendencia.

Los ejemplos del uso de estas rocas son incontables, pero merece la pena remarcar el empleo de rocas calizas y granito para la construcción de dólmenes, usados como mausoleos en Asia, Europa Occidental, siendo una de las estructuras más añejas labradas en roca. Ejemplo de esto, en la Sierra de Cameros, La Rioja (España), se localiza el uso de dólmenes entre hace 6000 y 4000 años (López de Calle et al, 2001). También destacan las pirámides en el Antiguo Egipto, erigiéndose la Gran Pirámide de Guiza (Fig. 1b) de 146 metros de altura como el mayor movimiento de rocas realizado por los seres humanos hasta 2.300.000 de bloques, con un peso unitario estimado de 2,5 toneladas (Snethlage, 2011). En el Imperio Romano destaca el uso de piezas de granito para la construcción de diferentes estructuras, tales como el Acueducto de Segovia (Huguet, 2016). En otros lugares, como la India, para la construcción del Taj Mahal (considerado como una de las siete maravillas del mundo por la UNESCO) entre los años 1631 y 1648, se emplearon rocas como mármoles y areniscas (UNESCO, 2020.). Una de las construcciones más destacadas del siglo XX es el Empire State Building (Fig. 1d), inaugurado en 1931, ubicado en New York (EEUU) y revestido con paneles de calizas (Pfenniger, 2019) y dolerita (Morales Demarco, 2012). Por lo tanto, las rocas por su capacidad mecánica y expresiva como elemento estético u ornamental, han sido empleadas desde los inicios de la arquitectura hasta la actualidad en distintos ámbitos de aplicación (Arias, 2015).

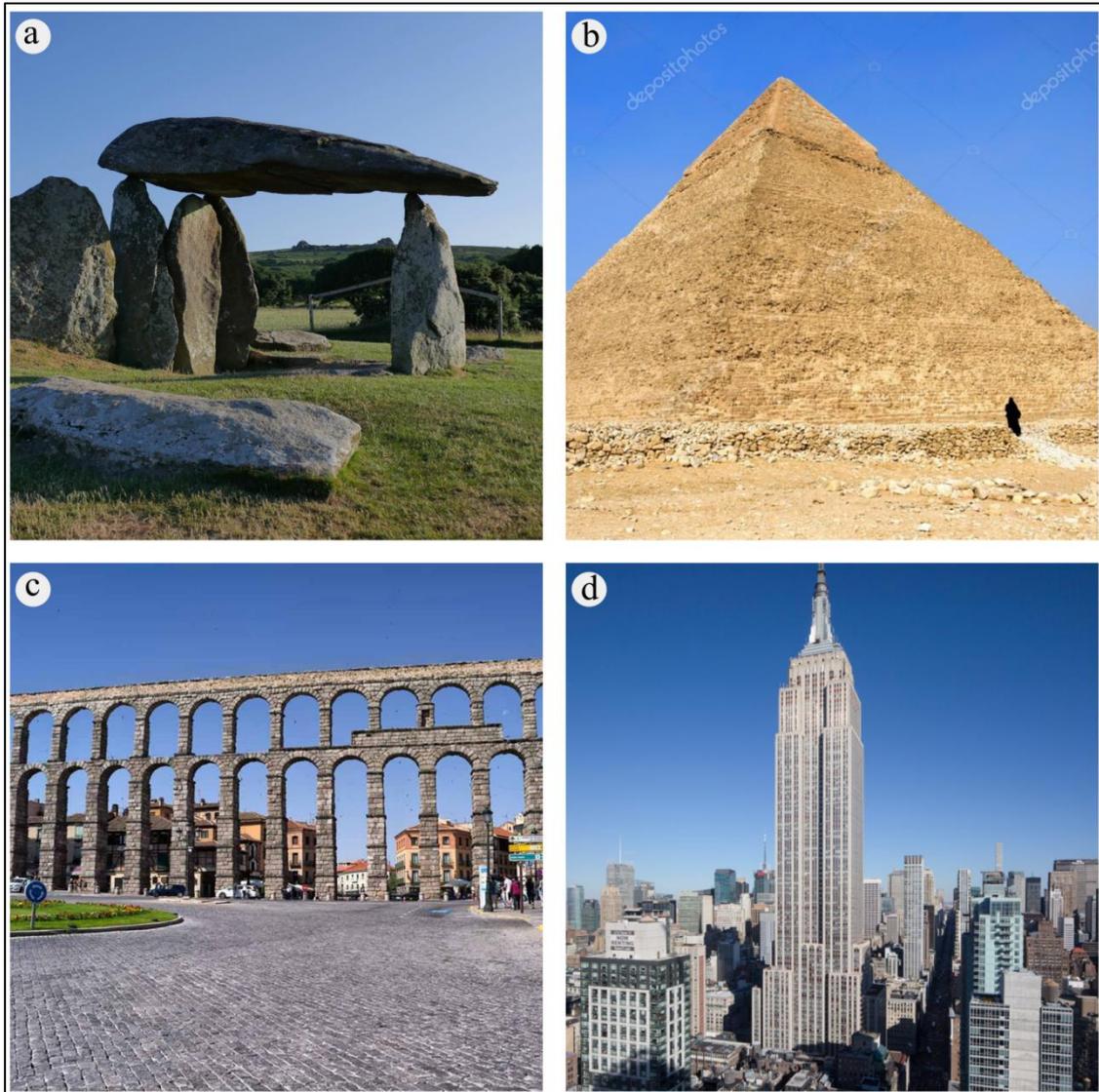


Figura. 1. Ejemplos de construcciones emblemáticas, construidas con rocas ornamentales. a: Dolmen de Pentre Ifan[^], Gales (foto de Helge Klauss Rieder); b: Piramide de Jafra, Egipto (fuente: positphotos.com); Acueducto de Segovia, España (fuente: National Geographic); Empire State Building, Estados Unidos (fuente: newyorkyimby.com).

El acarreo de los bloques de piedra fue una de las tantas dificultades que limitaban el uso extendido de estos materiales en épocas antiguas. Una de las formas en la que los egipcios cargaron y trasladaron los bloques de piedra hacia los sitios de enclavamiento fue con trineos de madera desplazados con el uso de sogas, mediante un sistema de rampas (Forssmann, 2018). Esta pobre tecnología de transporte y el mal estado de los caminos eran una de las causas de ello, por lo que siempre que era posible se transportaban en barcos. Ejemplos de ello se encuentran en la época romana, cuando se transportaron a Italia mármoles y calizas desde Grecia y Turquía, o en el Antiguo Egipto donde se usaba el Río Nilo para transportar los bloques de rocas hacia los emplazamientos de construcción (Snethlage, 2011).

Durante el siglo XIX con el estallido de la Revolución Industrial y la aparición de nuevas tecnologías, se aumentaron las capacidades de carga y transporte mediante la introducción del ferrocarril y apertura de redes de canales de navegación que permitían transportar grandes bloques de rocas desde y hacia lugares de difícil acceso por otras vías (Snethlage, 2011). De esta manera se ocasionó un impacto significativo en el nuevo diseño de las ciudades, como fue en el caso de Alemania. En este período de la Revolución Industrial se produce un crecimiento de la industria de la construcción, aunque por contrapartida marca el tope de la construcción con rocas naturales, ya que nuevos materiales como el acero y hormigón son introducidos, iniciando la era donde el concreto domina como material de construcción relegando así el empleo de las rocas o piedras naturales a otras funciones (Snethlage, 2011).

En la actualidad, aunque sigue sin ser el principal material de construcción ya que es superado por materiales como el cemento o el acero, existe una tendencia al alza en su empleo (Montani, 2017) (Tabla 1). El crecimiento económico, la globalización (que acerca las distintas formas de construcción de todo el mundo) y las características del diseño moderno son factores que impulsan la demanda de rocas ornamentales. El principal uso de este recurso mineral continúa siendo en la construcción de edificios, aunque cada vez cumple menos una función estructural, sino que son empleadas como piezas decorativas y revestimientos; además es posible encontrarlas en menor medida como material de arte funerario y decoración urbana (Montani, 2017).

Tabla 1. Producción histórica de rocas ornamentales a nivel mundial hasta 2016. Modificado de Montani, 2017

Años	<i>Rocas</i>							
	Cálcareas		Silíceas		Otras		Total	
	000 tons	%	000 tons	%	000 tons	%	000 tons	%
1926	1.175	65.6	175	3.3	440	24.6	1.790	10.1
1976	13.600	76.4	3.400	19.1	800	4.5	17.800	100.0
1986	13.130	60.5	7.380	34.0	1.190	5.5	21.700	122.0
1990	26.450	56.8	17.625	37.9	2.425	5.2	46.500	261.2
1997	27.650	55.8	19.350	39.1	2.500	5.1	49.500	278.0
1998	29.400	57.6	19.000	37.3	2.600	5.1	51.000	286.5
1999	31.300	57.4	20.350	37.3	2.850	5.3	54.500	306.2
2000	34.500	57.3	21.700	36.3	3.450	5.9	59.650	335.1
2001	38.500	53.2	23.250	35.8	3.250	5.0	65.000	365.2
2002	39.000	57.8	25.000	37.0	3.500	5.2	67.500	379.2
2003	42.500	56.7	28.500	38.0	4.000	5.3	75.000	421.3
2004	43.750	53.9	33.000	40.6	4.500	5.5	81.250	456.5
2005	46.750	54.8	34.000	39.9	4.500	5.3	85.250	478.9
2006	53.350	57.5	34.300	37.5	4.600	5.0	92.750	521.1
2007	60.500	58.5	37.500	36.2	5.500	5.3	103.500	581.5
2008	62.000	58.0	38.000	36.5	5.700	5.5	105.000	589.9
2009	60.350	58.2	38.000	36.4	5.650	5.4	104.500	587.0
2010	63.230	58.5	40.500	36.3	5.750	5.2	111.500	626.4
2011	68.500	59.0	41.700	36.0	5.800	5.0	116.000	651.6
2012	72.250	58.5	45.750	37.0	5.500	4.5	123.500	693.8
2013	76.750	59.0	47.500	36.5	5.750	4.5	130.000	751.4
2014	79.200	58.0	51.900	38.0	5.400	4.0	136.500	766.8
2015	81.500	58.3	53.200	37.9	5.300	3.8	140.000	786.5
2016	83.750	57.8	56.000	38.6	5.250	3.6	145.000	814.6

El concepto de roca ornamental es muy amplio y no existe un consenso sobre la definición de estas rocas, siendo variadas las mismas. La ASTM (*American Society for Testing and Materials*), las define como una piedra natural que ha sido seleccionada y elaborada a formas o tamaños específicos, con o sin una o más superficies mecánicamente terminadas para usar como revestimiento de edificios, adoquines, monumentos y variados productos industriales (ASTM, 2019). La ABNT (*Associação Brasileira de Normas Técnicas*) las describe como material de roca natural, sujeto a diferentes grados o tipos de beneficio (áspero, acanalado, flameado, tallado o pulido), utilizadas para cumplir una función estética (ABNT, 2013). Stein (2004) designa como dimensión stones a todos los productos elaborados con roca natural que alcanzan una dimensión definida en un proceso a través de un trabajo industrial. El Departamento de Recursos Minerales de Sudafrica en su revisión de la industria de rocas ornamentales, menciona que este es un término aplicado a la roca natural que puede ser cortada, formada o seleccionada para su uso en bloques, losas, láminas u otras unidades de construcción de formas específicas o tamaños (Naidoo, 2006). Frascá (2010) asigna el término rocas ornamentales a todos los materiales rocosos aprovechados por su apariencia estética para el uso en trabajos artísticos, como estatuas, elementos decorativos y como materiales para la construcción. Según la ABIROCHAS (*Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais*) las rocas ornamentales comprenden los materiales geológicos naturales que se pueden extraer en bloques o placas, cortados en formas variadas y beneficiados por medio de pulido, etc. (Chiodi & Rodrigues, 2009).

Dentro de estas definiciones se abarca un amplio espectro de rocas sin especial consideración de su litología y génesis (granitos, mármoles, pizarras, areniscas, entre otras). La designación comercial de las rocas ornamentales no es objeto de normalización o regulación alguna (Frascá, 2014), y por ende, existe una especie de confusión terminológica en esta industria derivada de las definiciones comerciales. Börner y Hill (2007) recolectaron 13.677 variedades comerciales. En muchos casos la definición comercial de cada una de estas rocas se encuentra muy separada de las definiciones geológicas (Tabla 2), lo cual genera dificultades para la caracterización de las mismas. No obstante, cabe destacar que a pesar del desafío por asignar un nombre a cada tipo de roca, existen en la industria rocas diferentes con la misma designación y rocas iguales desde el punto de vista geológico, con nombres comerciales distintos. La designación del término comercial de una roca ornamental está constituida por dos componentes, la referencia al tipo de roca y el nombre de fantasía atribuido (Müller, 1996; Chioli, 2018). El primero hace referencia al entendimiento de los productores y/o proveedores sobre la variedad de roca ofrecida al consumidor, mientras que el nombre de fantasía, originalmente, refería al lugar de origen y coloración del material, aunque actualmente no necesariamente hace referencia a su color ni a la procedencia del material.

Tabla 2. Relación entre terminología científica y comercial. Modificado de Arias, 2015

COMERCIAL		CIENTÍFICA				
		Composicional	Genética			
			Rocas ígneas		Rocas Metamórficas	Rocas Sedimentarias
			Plutónicas	Volcánicas		
Granito	Granito claro	Rocas silíceas	Granitos Granodioritas Pegmatitas		Gneisses	
	Granito negro		Gabros Monzonitas Tonalitas Doleritas Peridotitas			
	Basalto			Andesitas Basaltos		
Pizarra					Esquistos Filitas Pizarras	
Mármol	Rocas verdes				Serpentinitas Anfibolitas Peridotitas	
	Mármoles				Mármoles	
	Calizas Travertinos	Rocas carbonatadas				Calizas Dolomías Travertino
Otras rocas	Areniscas	Otras rocas				Arenisca Conglomerado
	Alabastro					Yeso Anhidrita Alabastro
	Pumita			Ignimbritas Tobas Pumitas		
	Cuarcita				Cuarcitas	

Según Frascá (2014) existen “grandes categorías” de rocas ornamentales según los criterios de la definición comercial: granitos y mármoles. Se incluyen dentro de estas dos los diferentes tipos de rocas, independientemente de su color y correcta tipificación litológica. Para esta autora una consecuencia del desarrollo del empleo de las variedades de materiales rocosos y las tecnologías asociadas, es que estas designaciones se han generalizado y también engloban a las cuarcitas, areniscas, travertinos, pizarras, etc.

El uso de las rocas ornamentales puede ser variado, empleándose en multitudes de aplicaciones (Tabla 3). Sin embargo, es de vital importancia para un mayor beneficio, adecuar o combinar las características geológicas y tecnológicas de una roca ornamental con el uso y/o función que se le pretenda dar en construcción. La aptitud tecnológica de cada material dependerá de sus propiedades (petrográficas, físicas y mecánicas), por lo tanto, conocer estas características permitirá predecir la viabilidad y el futuro comportamiento de las rocas para su uso particular en construcción, atendiendo el carácter estructural del uso, así como las condiciones ambientales del mismo. El rendimiento de los materiales como roca ornamental por lo tanto, se encuentra condicionado por el uso que se le brinda. “No hay piedras buenas o malas, sino piedras bien o mal utilizadas” (López et al., 2001).

Tabla 3. Principales aplicaciones de las Rocas Ornamentales en el mundo año 2016. Modificado de Montani, 2017

Aplicaciones	Porcentajes
Pisos y pavimentos	32,5 %
Revestimientos externos	7,5 %
Escaleras	3,0 %
Revestimientos internos	12,5 %
Trabajos especiales	19,5 %
Usos civiles externos	6,0 %
Arte funerario	16,5 %
Otros usos	2,5 %

Areniscas como Roca Ornamental

El uso de estas rocas en la industria de la construcción con fines ornamentales no está ampliamente extendido si se compara con otras rocas como el granito o el mármol. Tal es así que en diversas definiciones y clasificaciones de rocas ornamentales a esta roca sedimentaria no se la considera como una categoría específica dentro de las más importantes, sino, se incluye dentro de un grupo de rocas con consideración menor.

A pesar de esto, son numerosos los ejemplos a lo largo de la historia y del mundo en los cuales se ha empleado areniscas en la construcción de estructuras y edificaciones de diferentes tipos (desde humildes casas hasta catedrales importantes), muchas de ellas con un gran valor arquitectónico e histórico para la humanidad. El Al-Jazneh, o El Tesoro en español (Fig. 2), se ubica en Petra, al sur de Jordania y se trata de una

emblemática estructura que forma parte del Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO. Fue tallada por escultores sobre la pared de la propia roca y sus dimensiones son de unos 39 metros de altura y 25 metros de ancho. Se cree que fue construido en el Siglo I a.c como un mausoleo, por mandato del rey nabateo Aretas III, siendo a lo largo de la historia, objeto de múltiples y variadas historias relacionadas al momento de su construcción y tiempos posteriores (Universes in Universes, 2019).

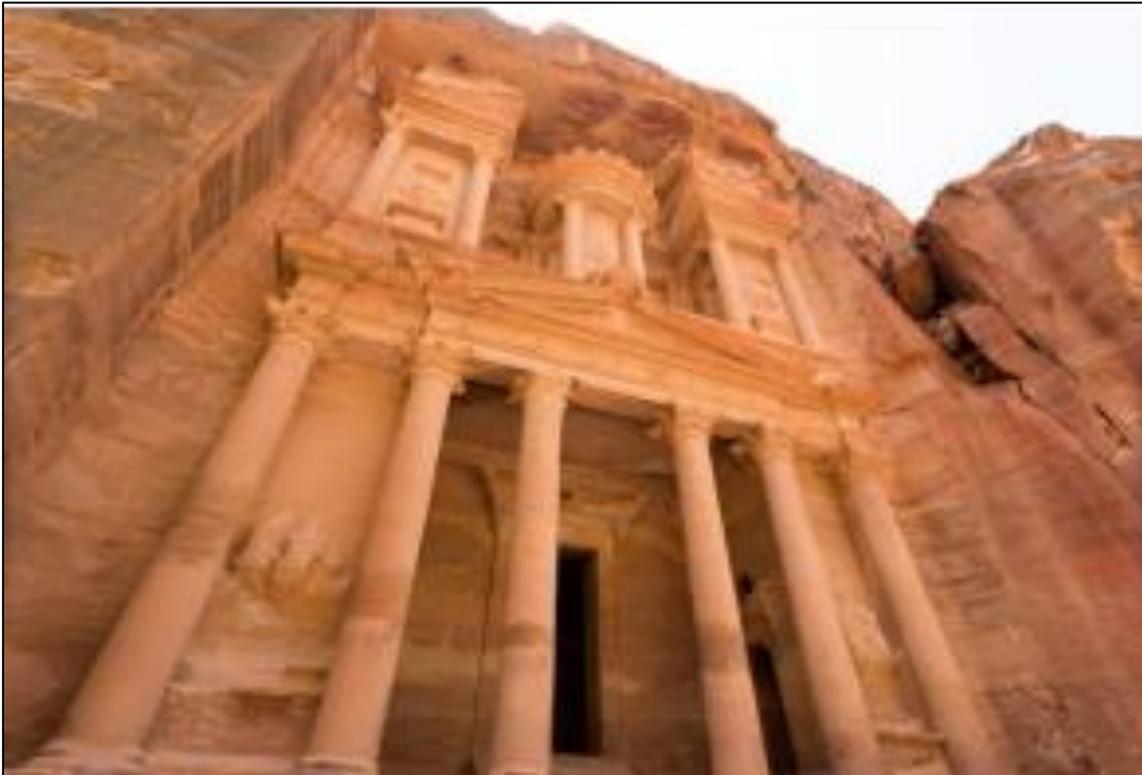


Figura. 2. Templo de Al-Jazneh, Petra, Jordania. Labrado en la propia roca arenisca. (Fuente: Limes.Media, autor Tim Schnarr)

Otra edificación emblemática, y que también forma parte del Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, además de ser considerada una de las siete maravillas del mundo moderno, es el templo Taj Mahal en el distrito de Agra, India (Fig. 3). Fue construido entre los años 1631 y 1648 por orden del emperador mongol Shah Jahan, como un mausoleo para honrar la memoria de su difunta esposa. En esta edificación, además del mármol blanco para la cúpula principal, se empleó una arenisca rojiza para la mezquita y la casa de huéspedes (UNESCO, 2019).

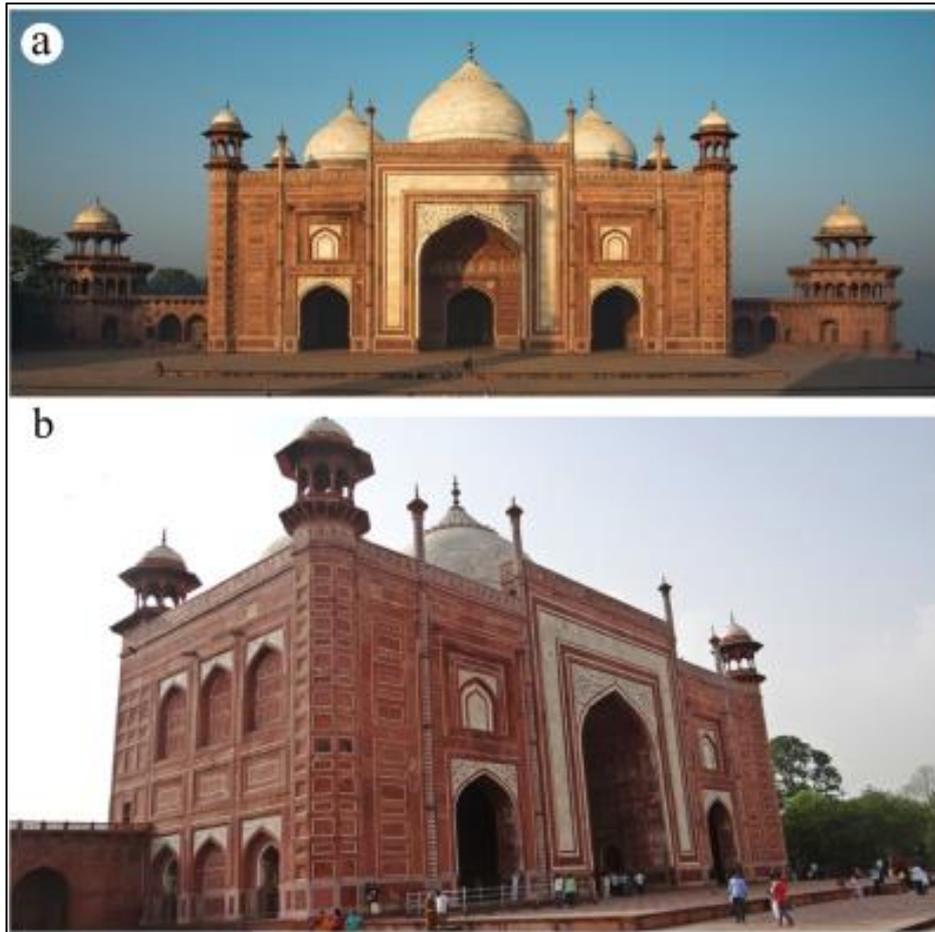


Figura. 3. Mezquita anexo, Taj Mahal (Agra, India), construida con arenisca rojiza, entre otras rocas. a) Vista frontal (foto de Ko Hon Chiun Vincent); b) Vista lateral (fuente: pixabay.com).

En Estados Unidos la arenisca fue uno de los materiales de construcción más conspicuos en siglos pasados. Una de las edificaciones más destacadas es el Capitolio de Estados Unidos (edificio que alberga las dos cámaras del Congreso de ese país), ubicado en la capital (Washington). Para su construcción se empleó arenisca en muros exteriores, así como para pisos interiores, paredes y demás elementos (Architect of the Capitol, 2019) (Fig. 4c). Posteriormente parte de las areniscas del muro exterior fueron remplazadas por otras rocas más resistentes y se construyó otro muro perimetral exterior, pasando de esta forma, fracciones del muro original exterior a paredes interiores. En la región del Lago Superior (al norte de este país) fue común el uso de esta roca como materia prima de construcción (Rose et al., 2017). Según estos autores, la arenisca Jacobsville, de tonalidades rojizas fue ampliamente utilizada en esta área. Relevantes ejemplos de su empleo son el Masonic Temple (1882) en Chicago; el Northwestern Guaranty Loan (1889) en Minneapolis; Red Jacket Fire Station (Fig 4a) y St Paul the Apostle Church (Fig 4b), ubicados en Calumet, Michigan; además del US Customs House (1888–9) y Upper Peninsula Branch Prison (1885–9), en Marquette, Michigan.



Figura. 4. Algunas edificaciones que emplean arenisca en USA. a) Red Jacket Fire Station (foto de Andrew Jameson); b) St. Paul Church (fuente: Wikipedia); c) sector interno del The United States Capitol Building (fuente: aoc.gov)

En Australia, la construcción con arenisca tiene una extensa historia. Entre las estructuras más renombradas en las que se utilizan estas rocas se encuentran la Catedral San Pablo (Melbourne), cuya edificación se realizó entre los años 1880 y 1931, con areniscas extraídas en Nueva Gales del Sur (Sarkis, 2017). Según este autor, la Casa de Gobierno (Sydney), residencia oficial del gobernador de Nueva Gales del Sur, empleó la arenisca Sydney y fue construida entre 1837-1843; al igual que en la Galería de Arte de Nueva Gales del Sur (Fig. 5), erigida en 1880, siendo una de las galerías más grandes de Australia y la más importante de Sydney.



Figura. 5. Vista exterior de la Galería de Arte de Nueva Gales del Sur construida con Arenisca Sydney.
(Fuente: timeout.com)

En países de Europa Central el uso está ampliamente difundido en edificaciones, cementerios, etc. Alemania es un ejemplo de esto, ya que castillos de la región de Drei Gleichen (Gleinch, Wachsenburg y Muhlburg), en el centro del país fueron construidos con el uso de seis tipos de areniscas, además de otras rocas (Stück, 2013). También en Gran Bretaña, las catedrales de Worcester (Fig. 6), Lichfield, Coventry, Chester y Liverpool en Inglaterra, fueron construidas con un tipo de arenisca rojiza de edades pérmicas y triásicas. La primera (Worcester), fue construida originalmente con la Arenisca Highley, perteneciente a la Formación Halesowen (Lott, 2013). Mientras que en Escocia, la construcción con areniscas tiene una prolongada y significativa historia. Con esta roca se han edificado numerosas construcciones, tal es el caso de la capital de este país, Edimburgo, donde la mayoría de sus edificaciones más notables (New Register House, entre otros) fueron elaboradas fundamentalmente con areniscas carboníferas extraídas de la cantera de Craigleith (Lott, 2013).



Figura. 6. Fachada exterior de la Catedral de Worcester, Inglaterra, donde fue empleada la Arenisca Highley. (Fuente: Trover.com).

Los diferentes tipos de areniscas pueden variar su dureza, pero en muchos casos se trata de una roca de menor dureza que otras (p.ej. granitos), y por lo tanto, más fácil de “moldear” o dar diferentes formas (Regatta, 2017). Esto le brinda notables ventajas para la confección de elementos domésticos y/o decorativos, como puede ser esculturas, lámparas, estatuas, fuentes, etc. (Fig. 7). Por contrapartida, esta característica, torna la roca más vulnerable a diversos factores mecánicos (de esfuerzos o tensiones) y ambientales (contaminación, agua, viento, etc.) que provocan el deterioro y degradación cuando entran en contacto prolongado con las mismas, en un período de tiempo menor que otras rocas.

Las limitaciones que presentan generalmente las rocas areniscas menos tenaces como elemento ornamental (baja resistencia a esfuerzos, friabilidad, elevada porosidad, etc.) conforman una circunstancia de relevancia para considerar el tipo empleo. Esto era algo reconocido por los propios constructores de diferentes épocas. Que a pesar de esto, empleaban la arenisca como roca ornamental en ocasiones por la disponibilidad

o fácil accesibilidad a la misma (al igual que puede suceder con otros materiales). Se impone destacar que estos hechos se daban especialmente en otras épocas donde el acarreo de los materiales de sitios a otros era complicado por falta de tecnología para ello. Y que no se trata de una norma para todas las rocas de este tipo, sino que existen ejemplos de areniscas cementadas (Craigleith Sandstone) que habilitan su uso en cualquier tipo de construcción (no solo como revestimientos, sino también con función estructural) y que son perdurables en el tiempo (McMillan et al, 1999).

Las aplicaciones más comunes de este tipo de roca sedimentaria están asociadas a construcciones de muros o paredes (como bloques, losas o ladrillos), pisos y pavimentos (de casas o complejos residenciales y comerciales, cortadas como ladrillos o losas), elementos decorativos, como pueden ser, columnas, fuentes, macetas, estatuas, muebles, entre otros. Se utiliza generalmente en forma de baldosas, bloques, ladrillos, adoquines, losas, guijarros o cantos, etcétera (Indiamart, 2020.; SuraStone, 2019.).



Figura. 7. Macetas elaboradas con roca arenisca. (Fuente: Indiamart, 2020)

Conglomerados como Roca Ornamental

La comercialización de este tipo de rocas sedimentarias como elementos ornamentales expresa una notable evidencia de las complejidades derivadas por las diferencias terminológicas entre las clasificaciones geológicas y denominaciones comerciales. Estas rocas, en numerosas oportunidades son presentadas como granitos, mármoles, entre otros tipos de rocas de diferente origen y que no coincide con su designación geológica. Esto implica, por lo tanto, una manifiesta problemática para la caracterización del uso de esta roca.

Relativo a lo anterior, se pueden encontrar referencias comerciales donde se combina la denominación de esta roca con otra, ejemplos de esto lo son: mármol conglomerado, granito conglomerado, cuarzo conglomerado (Stonecontact, s.f.). También se la ha incluido dentro de las areniscas (Currier, 1960; Natural Stone Institute, 2019). Autores como King (2019) destacan la poca utilidad de esta roca con fines comerciales (usos en revestimientos internos de pisos, entre otros), esto sería consecuencia de su baja capacidad a ser cortado limpiamente, además de su variabilidad composicional que deriva en heterogeneidad física y mecánica, resultando en un comportamiento *a priori* poco confiable.

Destaca el empleo de conglomerados con esqueleto de menor tamaño por sobre los de mayores dimensiones, usados ocasionalmente para construcciones artísticas y paisajismo (Natural Stone Institute, 2016).

El uso de esta roca tiene registros en el período faraónico, en el Antiguo Egipto, donde se empleó un conglomerado de tonalidades verdosas, extraído de la región de Uadi Hammamat, para la construcción de los sarcófagos de los faraones Ramsés VI y Nectanebo II (Aston et al, 2000). Según estos autores, esta roca también fue explotada por los romanos que la transportaron hacia Italia, y elaboraron con ésta columnas, baldosas y en raras ocasiones estatuas.

El monasterio de Teplá se encuentra ubicado en la localidad homónima, en la región oeste de Bohemia, República Checa. El mismo fue fundado por un noble checo como agradecimiento al Papa que lo había absuelto de participar en la tercera Cruzada (Czech, 2019). Esta edificación fue levantada hacia el año 1193 y reconstruida posteriormente en otras oportunidades. Para ello se emplearon areniscas y conglomerados extraídos de esta misma región en la construcción de las bases y paredes de las partes góticas de esta estructura (Lehrberger & Gillhuber, 2004).

En Granada (España) se encuentra el Palacio de Carlos V, construido por el emperador de igual nombre en el año 1526, las columnas que adornan este palacio (Fig. 8) fueron elaboradas con conglomerados de El Turro (Gómez & Calle, 2019).



Figura. 8. Columna elaborada con conglomerado El Turro, Palacio de Carlos V (Granada, España).
(Fuente: Ayuntamiento de Chauchina, 2017)

Deterioro y Conservación de Rocas Ornamentales

Las propiedades de las rocas (composición mineralógica, propiedades físicas y mecánicas) están determinadas por los procesos de formación e historia de eventos posteriores a los que haya estado expuesta, y que no solo definen las variaciones de este material (composición, color, durabilidad y apariencia), sino que influyen también en el comportamiento de la misma frente a los diversos procesos de alteración. Por lo tanto, el empleo en construcción de las rocas ornamentales debe ser en base a un análisis de sus características geológicas y tecnológicas (Siegismund & Dürrast, 2011).

Aunque la optimización del rendimiento sea una materia a destacar, es de imperiosa necesidad remarcar el hecho de que es esperable que cualquier roca ornamental o material de construcción con el tiempo muestre signos de envejecimiento. Estas marcas de envejecimiento pueden condicionar la formación de una pátina natural sobre la superficie de la roca, provocada por la erosión, ensuciamiento (polvo, hollín

del aire, etc.), cambios minerales, desarrollo biológico (hongos, líquenes, etc.). La creación de estas pátinas no necesariamente debe ser visto como algo negativo, sino que puede brindar a la edificación una apariencia atractiva además de agregar cierto sentido de historia (Frasca, 2014).

Deterioro

El deterioro de las rocas ornamentales es definido por Viles (1997) como el conjunto de cambios de las propiedades de los materiales de construcción a lo largo del tiempo, cuando entra en contacto con el ambiente. Según este autor, estos cambios pueden ser físicos o químicos, que derivan en cambios en la apariencia estética, así como en disminución de la resistencia mecánica. Estas transformaciones estéticas pueden derivar en formación de costras, manchas, desvanecimiento, fragmentación y desprendimiento de minerales, formación de cavidades, entre otros, lo cual indirectamente refleja costos económicos vinculados con la restauración y limpieza (Frasca et al., 2006). En este sentido, la International Council on Monuments and Sites (ICOMOS) en su versión en español del glosario de deterioros (ICOMOS, 2011), establece que el deterioro de las rocas puede considerarse como un proceso que conduce a una disminución o depreciación de la calidad, valor, carácter y otras propiedades. Además, describe otros conceptos asociados como alteración, degradación y daño. El primero, trata de modificación del material que no implica necesariamente un empeoramiento de sus características desde el punto de vista de la conservación. La degradación implica cualquier modificación química o física de las propiedades intrínsecas de la roca que ocasiona pérdida de su valor, utilidad o capacidades funcionales. Mientras que el daño lo definen como percepción humana de la pérdida de valor de un elemento por causa de su degradación. .

Steiger y Charola (2011), categorizan los procesos que contribuyen a la degradación de las rocas en función de su origen desencadenante, considerando, por lo tanto, procesos mecánicos, químicos y biológicos. Estos, según los autores mencionados previamente, se detallan a continuación:

- Los factores mecánicos de deterioro pueden ser consecuencia de someter las rocas a tensiones que superan su capacidad de resistencia mecánica, y esto puede deberse a problemas de diseño en las edificaciones, además de factores naturales (por ejemplo, terremotos) o productos de la acción humana (por ejemplo, acciones del tránsito de vehículos), y falta de mantenimiento (p. ej. crecimiento biológico). Los factores relacionados a estos procesos mecánicos se vinculan a los ciclos térmicos, expansión hídrica e hídrica, crecimiento cristalino, o la combinación de estos factores.
- Los factores químicos, asociados a precipitaciones de sales son considerados como el factor de deterioro más destacado. Se desarrolla fundamentalmente en rocas porosas que pueden retener agua. El deterioro fomentado por este

agente provoca patrones de desintegración granular, deslaminación (efecto acrecentado en rocas con arcillas, ya que tienden a acumular sales en su estructura), ampollas y alveolización (estructura panal de abeja). Las fuentes de mayor relevancia para el enriquecimiento de sales en los materiales de construcción son la atmósfera (reacciones químicas con la lluvia ácida o por ingreso directo) y la humedad del suelo (que asciende por las paredes transportando iones en solución)

- Los factores biológicos que determinan la degradación de las rocas se encuentran influenciados por la disponibilidad de agua en los poros. Los daños causados por estos factores se denominan biodeterioro (Allsopp et al. 2003). Los principales organismos biológicos que intervienen son las bacterias, líquenes, hongos y plantas. Los problemas que pueden surgir a partir de estos son la decoloración biogénica, biopátinas, fracturas o fisuras producidas por el crecimiento de raíces, entre otros.

Además de la influencia de los factores previamente aludidos, Steiger y Charola (2011) resaltan el rol del clima como otra circunstancia preponderante en el deterioro de las rocas ornamentales, ya que estas son expuestas a condiciones climáticas e interactúan con variados resultados. Para estos, el clima es un posible factor de degradación de las rocas de construcción reconocido desde hace tiempo, y señalado por escritores de la época romana (Brimblecombe, 2011). Los parámetros climáticos que influyen en el deterioro son la temperatura, precipitación, viento (dirección y velocidad), humedad atmosférica y del suelo, evaporación y radiación.

Limpieza

La limpieza de la roca resulta un factor clave en la conservación, elimina costras y partículas incrustadas que aceleran el deterioro de la misma. A pesar de esto, debe ser realizada con precaución ya que por más suave sea el método de limpieza siempre se puede generar la degradación en la superficie de las rocas (Snethlage, 2011). Los métodos de limpieza implican el uso de agua, ácidos, cataplasmas, abrasivos y láseres (Steiger & Charola, 2011; Snethlage & Sterflinger, 2011). A continuación se desarrollan cada uno de estos métodos descritos según Snethlage (2011):

- Procedimientos en base a agua: Son usados con bastante frecuencia con el objetivo de ablandar la suciedad para luego removerla, y cuya aplicación varía en la manera que el agua es empleada sobre la roca (agua pulverizada, agua a presión, vapor). El rociado con agua pulverizada consiste en rociar la superficie de la roca durante días e incluso semanas hasta eliminar la capa de suciedad, comparable al agua de lluvia, y es efectivo si la composición de la suciedad es de yeso o cualquier otro material soluble. Con el agua fría a presión, el lavado se logra al optimizar el efecto mecánico del chorro de agua, aunque el aumento

de la presión del chorro de agua acrecienta el riesgo de dañar la superficie de la roca. Por último, el chorro de vapor de agua, es el procedimiento habitualmente utilizado para limpiar monumentos y edificios. Se trata de chorro de vapor de agua expulsado a gran velocidad, que ejerce un impacto de carácter mecánico en la superficie de la piedra, ya que al chocar con esta, pasa al estado líquido debido a una expansión en el volumen del vapor de agua. Tiene buen poder de disolución y el efecto mecánico de desgaste sobre la roca es relativamente escaso, aunque como aspecto negativo, no puede eliminar las incrustaciones más severas y puede provocar erosión de la roca.

- **Métodos de limpieza con ácidos:** Las técnicas de limpieza que emplean ácidos eran comunes hasta la década de 1980, donde se usaban para la limpieza de incrustaciones duraderas en areniscas y granitos. El ácido fluorhídrico (HF) es el más usual, aunque se ha usado el ácido clorhídrico (HCl) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) y mezclas de ellos. Por otro lado, los limpiadores alcalinos (utilizados en numerosos países) son primordialmente una solución de hidróxido de sodio (NaOH), que son neutralizadas principalmente con ácidos fluorhídrico o ácido clorhídrico. Según estudios realizados por el grupo de Investigación de Conservación de Albañilería del Instituto de Tecnología Robert Gordón sobre la aplicación de ácidos, la tasa de ensuciamiento es mayor para edificios limpiados con ácidos que para los lavados con agua y vapor, y por lo tanto, aunque inicialmente parezcan más efectivos, a largo plazo el daño es mayor.
- **Cataplasmas limpiadores:** Los cataplasmas limpiadores son utilizados como alternativa a la limpieza con agua o chorros de partículas. Consisten en un soporte inerte mezclado con un ingrediente activo y son preferidos cuando la limpieza debe combinarse con la necesidad de transformación de yeso en calcita. Un aspecto negativo vinculado al uso, es que no se distingue el calcio del yeso o de la roca, por lo cual puede disolver esta última (cuando se aplica en exceso), con resultados no deseados. Son empleados en obras que requieran un enorme efecto de limpieza. Para que un cataplasma actúe con eficacia debe estar en contacto directo con la superficie de la roca (de forma tal, de permitir la difusión de iones desde el cataplasma a la pared, y viceversa).
- **Métodos abrasivos:** La técnica de chorros de partículas y micropartículas son las de mayor aplicación en la actualidad. En el primer caso, es más apropiado para la limpieza de edificios o fachadas grandes, y en donde la abrasión obtenida depende de la índole de la partícula y la presión con la cual son aplicadas. El tamaño de las partículas es en promedio de 0,2 mm, aunque varía entre 0,1 a 0,5 mm, mientras que la naturaleza de las mismas puede ser escoria de vidrio, arena con micas o calcita, arenas cuarzosas con granos redondeados o angulosos y esferas de vidrios hueco. Estos chorros funcionan a presiones de

entre 1 y 20 bares, por lo que solamente deben ser aplicados en superficies sólidas y estables (de lo contrario se induciría a la erosión de la pared). En tanto, los chorros de micropartículas son pertinentes para la limpieza de esculturas o adornos delicados. Los tamaños de los granos están comprendidos entre 0,05 y 0,1 mm., y su composición suele corresponder a calcita, corindón, cuarzo, granate, microesferas de vidrio hueco, plástico granulado y corchos (la naturaleza de partícula a utilizar depende del tipo de suciedad a remover y del sustrato). En contrapartida, la limpieza con micropartículas puede ser problemática, ya que se genera gran cantidad de polvo, lo cual puede ocasionar percances a operadores, entre otros.

- Limpieza con láseres: Método que comenzó a estudiarse desde 1970 y finalmente implementado a partir de la década de 1990, donde los equipos fueron más eficientes, menos pesados, y por lo tanto, más fáciles de transportar. Como la luz láser tiene las mismas propiedades que la luz visible, es absorbida por materiales de tonalidades oscuras y reflejada por los de colores claros, por lo tanto, debido a este motivo, la limpieza con láser es más apropiada para eliminar incrustaciones oscuras en materiales de colores claros como el mármol o caliza, sin generar daños a las rocas ya que los umbrales de energías necesarios para ellos son muy elevados en comparación con otros materiales. La principal objeción para la limpieza con láser es el riesgo de decoloración del pigmento, ya que el rápido incremento del calor hace que muchos pigmentos naturales liberen agua, modificando así la estructura y el color cristalográfico, Sobott (2000).

Para el caso particular de las areniscas la limpieza es un aspecto discutido. Según el informe *Cleaning Sandstone, Risk and Consequences* (Maxwell, 2007), en países como Escocia existe una presunción general contra la misma en la mayoría de los casos. Esto es resultado de lo que se ha demostrado, en muchas oportunidades la limpieza puede aumentar la tasa de descomposición de seis a diez veces en edificaciones limpiadas que en otras no limpiadas. Las técnicas de limpiezas tradicionales (físicas y químicas) están asociadas con posibles consecuencias que contribuyen al deterioro y degradación. Los métodos físicos pueden aumentar la erosión y rugosidad, con la pérdida de detalles arquitectónicos relevantes, mientras que las técnicas químicas son menos dañinas físicamente, pero pueden dejar un legado permanente en la piedra, como cambios de color o disposición de residuos. Siendo la técnica más segura es el cepillado manual, aunque se usa solamente en edificaciones con suciedades relativamente menores (crecimiento orgánico y suciedad superficial floja). Los nuevos métodos de limpieza implican el empleo de cataplasmas de látex, bacterias y láseres (Maxwell, 2007).

Glosario deterioros ICOMOS-ISCS

Este catálogo elaborado por el Comité Científico Internacional de la Piedra (ISCS) de ICOMOS (International Council on Monuments and Sites, por sus siglas en inglés), consiste en una recopilación de patrones de deterioros, publicado por primera vez en el año 2005 (en su versión en inglés) y cuya versión traducida al español se divulgó en el año 2011. Se plantean conceptos vinculados al deterioro y degradación de las rocas ornamentales sugeridos previamente por diversos autores. Estos términos son agrupados en cinco grandes familias: 1) grietas y deformación; 2) desprendimiento; 3) rasgos inducidos por pérdida de material; 4) alteración cromática y depósito; 5) biocolonización. Se enumerarán a continuación las distintas familias de deterioro y se destacan en negrita los tipos de deterioro más relevantes para el presente trabajo (reconocidos en las edificaciones estudiadas y que se plantean en el capítulo de resultados) junto a una breve descripción tomada de ICOMOS-ISCS (2011). Imágenes de estos deterioros se presentan en el capítulo Anexo.

- En esta familia, Grietas y Deformación, se incluyen dos tipos de deterioros, **Grietas** y Deformación. Las primeras son definidas como grietas individualizadas, claramente visibles a simple vista, que suponen separación entre las dos partes. Se diferencian 5 subtipos, **fracturas** (Fig. A1) (grietas que atraviesa completamente la pieza de piedra), fisuración radial, fisura, craquelado y disyunción en laja.
- Dentro de la familia de deterioro Desprendimiento se incluyen los siguientes tipos: **ampollas** (Fig. A3); **estallido** (Fig. A4); **deslaminación** (Fig. A5); **fragmentación** (Fig. A6); **disyunción de películas** (Fig. A7); **descamación** (Fig. A8); **disgregación** (Fig. A9). Las **ampollas** se definen como elevaciones semiesféricas rellenas de aire en la superficie de la roca siendo el resultado del desprendimiento de la lámina exterior de la misma. Los **estallidos** corresponden a pérdida local de la superficie de la roca debida a tensiones internas que se manifiestan normalmente por desprendimientos en forma de un cráter con bordes irregulares. La **deslaminación** es descrita como un proceso de desprendimiento que afecta a rocas que presentan laminación (fundamentalmente rocas sedimentarias y algunas rocas metamórficas) y se trata de la separación física en una o varias capas siguiendo la laminación. **Fragmentación**, definida como rotura parcial o total de la roca en partes de dimensiones variables, con formas, volúmenes y tamaños, irregulares. Se diferencian dos subtipos, fragmentación en esquirlas y desconchadura. La **disyunción de películas** corresponde al despellejamiento de una fina capa superficial (submilimétrica a milimétrica) con aspecto de película o recubrimiento que ha sido aplicado en la superficie de la roca. La **descamación** implica el desprendimiento de escamas o pilas de escamas de la piedra, que no sigue la estructura de la misma y se desprenden como las escamas de un pez o paralelamente a la superficie de la roca. Se diferencian dos subtipos, microdescamación y descamación perimetral. La **disgregación** corresponde al

desprendimiento de granos individuales o agregados de éstos. Uno de los subtipos reconocidos es la *disgregación granular*, característica de rocas sedimentarias granulares (por ejemplo, areniscas) o de rocas granulares cristalinas (por ejemplo, granitos). La disgregación granular produce detritos relacionados con el cuerpo general de la piedra que, frecuentemente, se pueden apreciar al pie de los muros que sufren el proceso.

- Se integran siete tipos de deterioros en la familia Rasgos inducidos por pérdida de material: **alveolización** (Fig. A10); **erosión** (Fig. A11 y Fig. A12); **daños mecánicos**; microkarstificación; **faltante** (Fig. A13); **perforación** (Fig. A14); **pitting**. La **alveolización** es definida como la formación de cavidades (alveolos) en la superficie de la roca. Lo integra el subtipo definido como **craterización**, que implica la erosión consistente en un solo alveolo desarrollándose desde la arista de un bloque de roca. La **erosión**, definida como la pérdida de la superficie original, con suavizado de las formas. Incluye tres diferentes subtipos: **erosión diferencial** (ocurre cuando la erosión no avanza con la misma velocidad en distintas áreas de la roca, como resultado, la roca no se degrada regularmente), **redondeamiento** (erosión preferente de las aristas de la piedra, generando un perfil redondeado) e **incremento de rugosidad** (pérdida selectiva de pequeñas partículas de roca con una superficie original suave, aunque el sustrato permanece compacto). Los **Daños mecánicos** corresponden a la pérdida de material de la roca claramente debida a acciones mecánicas. Los subtipos diferenciados son, daño por impacto, **incisión** (pérdida de material debida a la acción de una herramienta cortante. Puede tener la apariencia de una cavidad excavada, una cortadura, un borde dañado, etc.), **excoriación** (rayas o rayaduras que implican pérdidas de materia con aspecto de líneas inducidas manualmente por un objeto punzante), **abrasión** (erosión debida al rozamiento, frotamiento o impacto de partículas) y **repicado** (daños por impacto resultantes de golpes con una herramienta punzante a la superficie). El **faltante**, es definido como espacio vacío en el lugar en el que antes había una parte de la roca. Se distingue el subtipo hueco. La **perforación** es definida como una o una serie de orificios, producidas por una herramienta o animal, son más profundas que anchas y penetran dentro del cuerpo de la roca.
- Integran la familia Alteración cromática y depósito once tipos de deterioros, costra; **depósito** (Fig. 15 y Fig. 16); **alteración cromática** (Fig. A17 y Fig. A18); **eflorescencia** (Fig. A19); incrustación; **película** (Fig. A20); brillo superficial; **graffiti** (Fig. A21); **pátina**; **enmugrecimiento** (Fig. A22); subflorescencia. **Depósito**, corresponde a la acumulación de material exogénico de espesor variable. **Alteración cromática**, modificación del color de la roca en uno de los tres parámetros de color: tono, luminosidad y saturación. Se incluyen los subtipos, **coloración** (cambios en tono, saturación y/o luminosidad), **decoloración** (incremento de la saturación como consecuencia de la meteorización química de los minerales o desaparición de elementos cromáticos, pérdida del pulimento, generalmente de forma superficial), **manchas de humedad** (oscurecimiento de la superficie) y **tinción** (teñido o manchado, de extensión limitada). **Eflorescencia**, definido como acumulación

cristalina, pulverulenta y generalmente blanquizca sobre la superficie. **Película**, se trata de una capa muy fina, generalmente de naturaleza orgánica, y homogénea, siguiendo la superficie de la roca. **Graffiti**, grabados, excoriaciones, incisiones o pintadas de tinta u otros productos similares practicados en la superficie de la piedra. **Enmugrecimiento**, definido como depósito de una fina capa de partículas exógenas, (por ejemplo, hollín) dando lugar a una apariencia de suciedad a la superficie de la piedra.

- La familia Biocolonización está constituida por seis tipos de deterioro: **colonización biológica** (Fig. A23); algas; **liquen** (Fig. A24); **musgo** (Fig. A25); hongos; **plantas** (Fig. A26). La **colonización biológica** implica la colonización de la roca por plantas y microorganismos tales como bacterias, cianobacterias, algas, hongos y liquen. También incluye influencias por otros organismos tales como nidos de animales sobre y dentro de la roca. Los **líquenes** son organismos vegetales de formas redondeadas de tamaños milimétricos o centimétricos. Los **musgos** son organismos vegetales que forman masas acolchonadas de tonos verdosos y tamaños centimétricos. Las **plantas** hace referencia a seres vivos de naturaleza vegetal, con raíces, troncos y hojas.

Geología de los Conglomerados

Los conglomerados, también llamados ruditas o psefitas, son un tipo de roca sedimentaria clástica compuesta por cantos o clastos redondeados de tamaños superiores a los 2 mm (Wentworth, 1922) (Fig. 9), unidos por una matriz y/o cemento, y espacios vacíos (poros). No hay un consenso sobre el porcentaje de partículas de tamaño grava (>2 mm) requerido para ser considerado un conglomerado. Folk (1974) expresa que 30 % es la cantidad necesaria para ello, mientras que Williams et al (1982) elevan este valor a 50 %.

Los elementos que lo componen son, esqueleto (clastos superiores a 2 mm), matriz (limo, arcillosa o arenosa) que rellenan los huecos entre los clastos, el cemento que unen los diferentes componentes y los poros.

Los clastos en función de su tamaño o granulometría se denominan de manera diferentes: 2 a 4 mm, gravillas o gránulos; 4-64 mm, guijarros; 64-256 mm, canto; > 256 mm, bloques (Wentworth, 1922). La morfología de estos puede ser sub-redondeados a redondeados. Constituyen la base para distintas clasificaciones de estas rocas; según la procedencia pueden ser intraformacional (clastos derivan de la propia cuenca de depositación) o extraformacional (el área fuente se encuentra fuera de la cuenca de depositación); de acuerdo con la variedad composicional se distinguen conglomerados polimícticos (variedad de clastos con diferentes composición), oligomícticos (la composición de los clastos está dominada por unos pocos tipos de

roca o mineral) o monomícticos (composición homogénea de los clastos) (Boggs, 2009).

La matriz está fuertemente influenciada por las condiciones de depositación, y según su composición se clasifican en paraconglomerados o diamictitas cuando la matriz es pelítica y mayor a 15%, y en ortoconglomerados cuando la matriz es arenosa o el porcentaje de matriz pelítica es inferior a 15% (Boggs, 2009).

Los ambientes de depositación de estas rocas están asociados a condiciones subacuáticas de gran energía para los ortoconglomerados y flujos de barro y glaciales para los paraconglomerados (Tucker, 2003).

Milímetros (mm)	Micrometros (µm)	Phi (φ)	Tamaño Wentworth		Tipo de Roca
4096		-12,0	Bloque	Grava	Conglomerado/ Brecha
256		-8,0	Canto		
64		-6,0			
4		-2,0	Guijarro		
2,00		-1,0	Gránulo		
1,00		0,0	Arena muy gruesa	Arena	Arenisca
1/2	0,50	1,0	Arena gruesa		
1/4	0,25	2,0	Arena media		
1/8	0,125	3,0	Arena fina		
1/16	0,0625	4,0	Arena muy fina		
1/32	0,031	5,0	Limo grueso	Limo	Limolita
1/64	0,0156	6,0	Limo medio		
1/128	0,0078	7,0	Limo fino		
1/256	0,0039	8,0	Limo muy fino		
0,00006	0,06	14,0	Arcilla	Lodo	Arcilla

Figura. 9. Escala granulométrica de Udden-Wentworth. Modificado de Wentworth 1922

Geología de las Areniscas

Las areniscas o psamitas corresponden a un tipo de roca sedimentaria detrítica caracterizada por estar compuesta por granos de tamaños comprendidos entre 62,5 micras a 2 mm (Wentworth, 1922).

Estas rocas están conformadas por esqueleto, matriz, cemento y los poros. El primero hace referencia a los distintos granos minerales o líticos, la matriz puede ser de igual composición que el esqueleto y de tamaños variables según el autor (hasta 30 micras según Dott, 1964) aunque siempre es pelita, el cemento consiste en producto de la precipitación química de minerales en solución durante la diagénesis, mientras que los poros son espacios vacíos entre las partículas minerales de la roca. (Boggs, 2009).

La textura es una característica fundamental que permite caracterizarlas y diferenciarlas de otro tipo de rocas, además de condicionar las propiedades físicas y mecánicas. Esta la integran: el tamaño de las partículas minerales (0,0625 a 2 mm), grado de redondez (redondeado a anguloso), forma (esférico, laminar, discoidal y prolado según Zingg, 1935), grado de selección (de muy mala a muy buena), fábrica (arreglo interno de los granos) y el sistema de poros (Boggs, 2009). A partir de estos parámetros es posible deducir la magnitud y agente de transporte, planteándose el concepto de madurez textural. Folk (1951) plantea cuatro etapas de madurez textural, inmaduro, submaduro, maduro y supermaduro.

La composición de los clastos depende de la cercanía y condiciones climáticas del área fuente de sedimentos. En este sentido Tucker (2003) plantea la clasificación en función de la composición (madurez composicional). Una arenisca inmadura composicionalmente contiene mayor número de fragmentos líticos, feldespatos y minerales máficos, por el contrario, una arenisca madura composicionalmente está integrada fundamentalmente por granos de cuarzo.

La clasificación de estas rocas puede ser en base a diferentes criterios. Según el tamaño de los granos que constituyen el esqueleto (escala de Udden-Wentworth) Mientras que Dott (1964) y Pettijohn (1975) vinculan el porcentaje de cuarzo (Qz), feldespato (Fd) y fragmentos líticos del esqueleto con el contenido de matriz (Fig. 10).

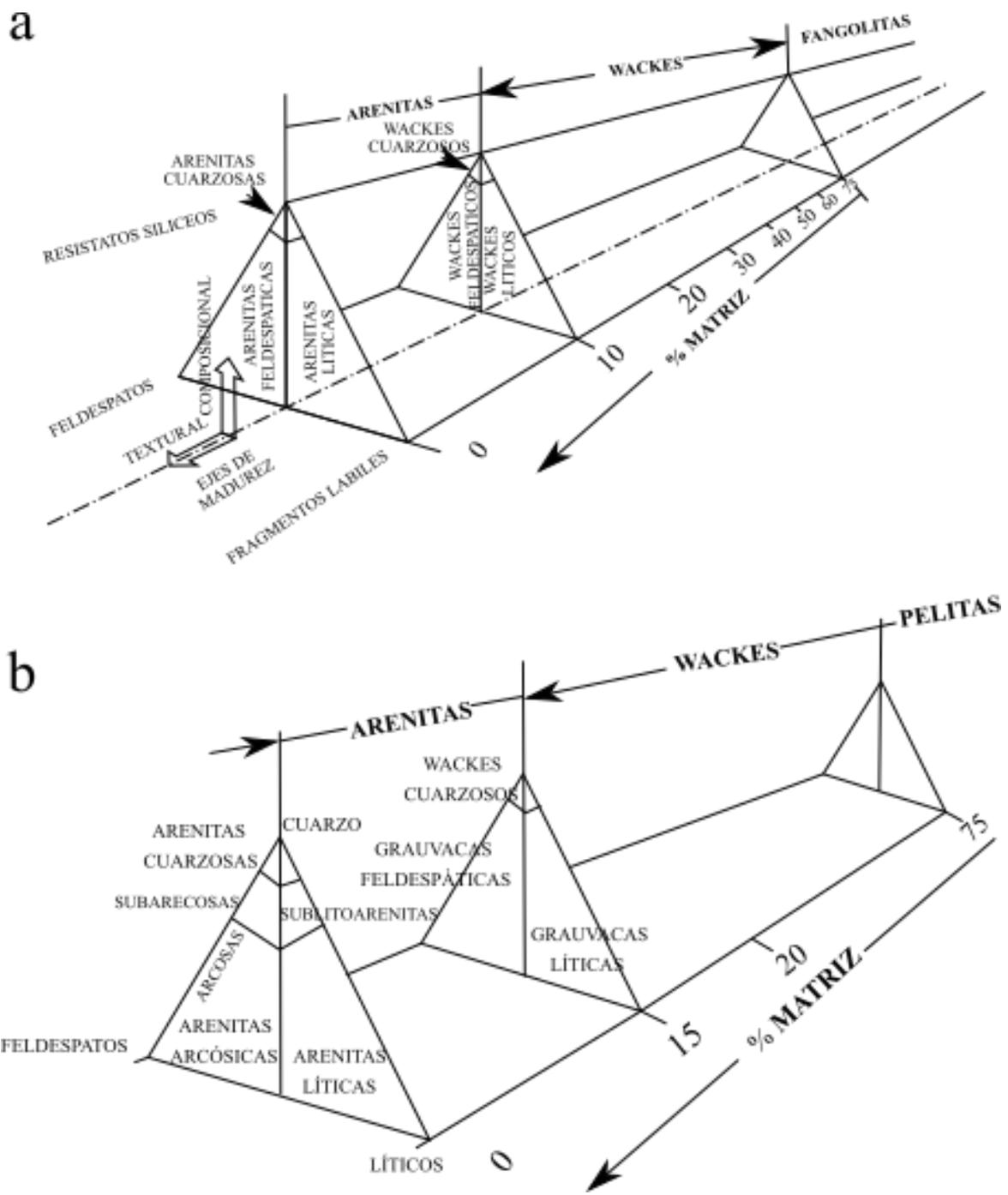


Figura. 10. a) Diagrama de clasificación propuesto por Dott (1964); b) Diagrama de clasificación Pettijohn (1975). Modificado de Dott, 1964

Caracterización tecnológica de Rocas Ornamentales

Las rocas ornamentales son elementos de construcción cuya geometría y configuraciones pueden ser definidas o determinadas. Frecuentemente son cortadas de formas regulares destinadas a embellecer y proteger las edificaciones. Las formas más habituales aplicadas son:

Chapa: material rocoso en lámina de espesor inferior a los 40 mm, de contorno casi regular, obtenida a partir del corte de los bloques.

Placa: porción de la roca obtenida a partir del corte de los bloques en telar (máquina que corta simultáneamente numerosas placas finas de espesor regulable a partir de un bloque)

Losa: cuerpo rocoso natural, cuya longitud y ancho es notoriamente superior que el espesor.

Ladrillo: componente con dimensiones y geometría estandarizados, con sus superficies paralelas, obtenidos de una chapa.

En cualquier aplicación de revestimiento la roca es seleccionada por su aspecto estético, por lo tanto este es un aspecto relevante. Hoffmann (2006) define el *décor* de una variedad de roca como el color y fábrica de la misma. Esto debe ser combinado con un conjunto de propiedades tecnológicas que determinen la viabilidad y durabilidad deseada en el uso que se propone (Frasca, 2014). Dentro de estas propiedades se destacan la dilatación térmica, resistencia a la compresión, a la flexión, a la abrasión y al anclaje.

Las propiedades a analizar incluyen un conjunto de ensayos que permiten conocer o caracterizar la roca. A continuación, se mencionan cada una de estas y realizando una breve descripción de cada una.

Propiedades físicas

Densidad

La densidad puede ser dividida en densidad de matriz (ρ_m) y densidad aparente (ρ_d). En el primer caso, se considera únicamente los componentes o minerales y, por lo tanto, constituye un valor de referencia sobre la composición de la roca. Por otro lado, la densidad aparente (también conocida como densidad de la roca seca), considera la porosidad de la roca y se define como la masa del material seco (m_s) por unidad de volumen total de la roca, o sea, el volumen de las partículas sólidas y todos sus espacios vacíos (poros) (Benavente, 2006). Según este autor, la densidad aparente de una roca es un reflejo del estado de conservación del material, ya que rocas más alteradas presentan densidades inferiores que las mismas en estado inalterado.

Uno de los métodos para determinar estos parámetros se basa en la flotabilidad de las muestras sumergidas en agua, según el principio de Arquímedes. Las ecuaciones para ello son (Siegesmund & Dürrast, 2011):

$$\rho_m = \rho_w \cdot (m_{\text{sec}}/m_{\text{sec}} - m_{\text{sub}}) \quad \rho_d = \rho_w \cdot (m_{\text{sec}}/m_{\text{sat}} - m_{\text{sub}})$$

ρ_m : Densidad de matriz

ρ_d : Densidad aparente

ρ_w : Densidad del agua

m_{sub} : Masa muestra sumergida en agua

m_{sa} : Masa muestra saturada

m_{sec} : Masa muestra seca

Porosidad

Se trata de un parámetro que considera la relación existente entre el volumen de poros de una roca por unidad de volumen total de esta (Siegesmund & Dürrast, 2011). La porosidad se puede clasificar en función de la interconectividad de los espacios vacíos, como abierta (porosidad efectiva) y cerrada, la primera hace referencia al volumen de poros interconectados de forma tal que un fluido pueda ser transportado a través de estos, en tanto la porosidad cerrada alude al volumen de poros de una roca que no presenta ningún tipo de comunicación con el exterior (Benavente, 2006). La suma de ambas porosidades determina la porosidad total. En el caso de las rocas sedimentarias la porosidad es función de espacios vacíos entre las partículas sólidas, mientras que en rocas ígneas y metamórficas se asocia a microfracturas o presencia de minerales alterados.

$$n = \frac{Vv}{Vt} \times 100 = \frac{(Vt - Vsólidos)}{Vt} \times 100$$

n= Porosidad

Vv: Volumen de vacíos

Vt: Volumen total de la muestra

Vsólidos: Volumen de las partículas sólidas

La porosidad efectiva consiste en un parámetro de gran relevancia a considerar en el deterioro de las rocas ornamentales, ya que favorece el ingreso de agua al interior. Mientras que la porosidad total es un factor que influye de gran forma en las propiedades mecánicas de las rocas (Benavente, 2006).

Según Gregg & Sing (1982), los tamaños de poros se pueden clasificar en microporos (<0,002 mm), mesoporos (0,002-0,005 mm) y macroporos (>0,005 mm). Este es parámetro que condiciona la conductividad hidráulica, siendo, por lo tanto, el factor que controla la entrada y movimiento de agua, contaminantes, etc., dentro de la roca.

Los poros cuyos radios estén en el rango de <1 mm a ca. 0,1 μm son de gran relevancia para la capilaridad y el transporte de fluidos, en los poros más pequeños que estos, los microporos, el transporte de fluidos se realiza mediante procesos de difusión de superficie y solución (Siegesmund & Dürrast, 2011).

Absorción de agua

La absorción es la capacidad de incorporación o asimilación de agua por parte de la roca, o sea, la relación entre la masa seca y el volumen de agua absorbido (Frasca, 2014). Los mecanismos de retención y transporte de agua dependen en gran medida del tamaño de los poros por el cual circulan. Klopfer (1985), establece que para poros de dimensiones entre 1 μm y 1 mm de diámetro el movimiento de fluido se da a través de la succión capilar, mientras que, para poros de diámetros superiores a 1 mm, el movimiento comienza a regirse según las características de flujo de fluido.

La absorción de agua capilar es un proceso espontáneo, vinculado a fuerzas capilares originadas en las paredes de los poros (producto de la interacción con las partículas minerales) y dependiente tanto del tamaño (entre 10 μm – 1 mm) como de la geometría de estos (Steiger & Charola, 2011). Conjuntamente, existe cierta dependencia direccional, obteniéndose valores de absorción inferiores (de hasta 70% menos) en dirección perpendicular a las capas sedimentarias o foliación metamórfica comparadas con la absorción en la orientación paralela a las mismas (Siegesmund & Dürrast, 2011). Por otro lado, la absorción de agua por inmersión total corresponde a la diferencia entre el peso de la muestra totalmente sumergida en agua y la muestra seca, encontrándose fuertemente vinculada a la porosidad, distribución de tamaños de poros y composición mineralógica.

La absorción puede ser calculada mediante la siguiente fórmula

$$\alpha_a = ((m_{sat} - m_{sec}) / m_{sec}) \times 100$$

α_a : Absorción por inmersión total

m_{sat} : masa saturada (g)

m_{sec} : masa seca (g)

Dilatación térmica

La dilatación térmica es la propiedad relacionada con variaciones de volúmenes de los materiales a partir de cambios de temperatura. De tal forma, las rocas experimentan variaciones en su volumen a partir de cambios en la temperatura, dilatándose cuando se calientan y contrayéndose cuando se enfrían (Frasca, 2014). Estos cambios están directamente asociados a la composición mineralógica de cada roca y al

comportamiento de los minerales frente a variaciones de temperatura (Siegesmund & Dürrast, 2011).

Según estos autores, este factor condiciona el comportamiento de las rocas en construcción, según la utilidad asignada, pisos o revestimientos, ya sea paredes tanto exteriores o interiores, y por lo tanto, el estado de conservación de esta. Esto genera que la determinación del coeficiente de dilatación sea un aspecto a considerar en la optimización del empleo de las rocas en diferentes emplazamientos.

Este coeficiente de dilatación se calcula a partir de someter a la roca a variaciones de temperatura en un intervalo entre 0 y 50° C (Frasca, 2014). Y está dado por la siguiente ecuación:

$$\beta = (\Delta L / (L_0 \times \Delta T)) \times 100$$

β : Coeficiente de dilatación térmica lineal (mm/m°C)

ΔL : Diferencial de longitud del cuerpo de prueba (mm)

L_0 : Longitud inicial del cuerpo de prueba (m)

ΔT : Diferencial de temperatura (°C)

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales rocosos se encuentran estrechamente vinculadas a algunas características intrínsecas (composición mineralógica, porosidad, entre otras), que permiten estimar su comportamiento frente a determinados esfuerzos.

Resistencia a la compresión simple o uniaxial (UCS)

La resistencia a la compresión uniaxial es la presión necesaria para producir la ruptura del cuerpo rocoso sometido a esfuerzos compresivos (Frasca, 2014). El ensayo de laboratorio permite determinar la resistencia a la compresión simple (σ), el Módulo de Young y Módulo de Poisson. Cuerpos rocosos son clasificados en función de su resistencia (Benavente, 2006). Según la norma DIN EN 1926 (1999) la resistencia a la compresión puede ser medida en muestras cilíndricas, cúbicas o prismáticas en una máquina de prueba de compresión (prensa hidráulica) (Fig. 11). La ecuación utilizada para el cálculo de la UCS es la siguiente:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ : Tensión de ruptura en la compresión (MPa)

F: Fuerza máxima de ruptura (kN)

A: Área de la cara del cuerpo de prueba sometida a carga (m²)

El análisis de los valores obtenidos proporciona información sobre la integridad física de las rocas, ya que valores inferiores a los característicos para el tipo de material rocoso en cuestión puede sugerir la existencia de alteraciones, discontinuidades (fisuras, fracturas), etc.

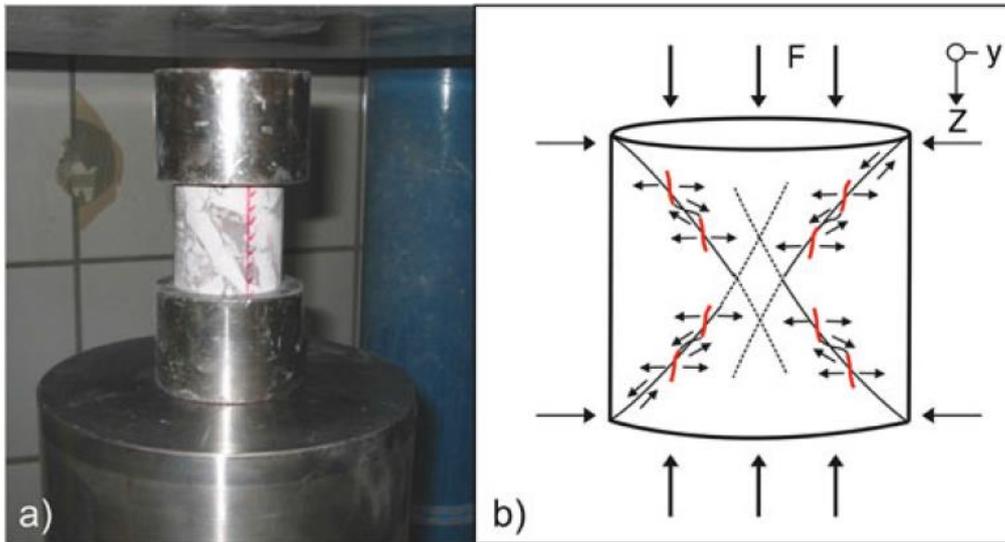


Figura. 11. a) Imagen representativa de cuerpo para determinar la resistencia a la compresión uniaxial. b) Esquema representativo de las fallas que ocurren en la roca a través de una combinación de grietas de tensión y corte. F = fuerza de carga. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011)

Resistencia a la tracción (“ensayo brasileño”)

Según Siegesmund & Dürrast (2011), la resistencia a la tracción se trata de la cantidad máxima de tensión a la cual puede someterse una roca antes de fallar. Aunque es un parámetro que a menudo no es medido. Estos autores determinan que los factores principales que afectan la resistencia a la tensión indirecta son la existencia de orientaciones espaciales, foliaciones o capas sedimentarias y la dirección de carga con relación a dichos elementos de fábrica de la roca.

El ensayo consiste en cargar un espécimen de estudio, de forma cilíndrica (20-40 mm de longitud y 40 mm de diámetro) a través de la sección transversal, donde la deformación por tracción resulta perpendicular a la dirección de carga (Fig. 12). Puede calcularse mediante la fórmula:

$$\sigma_z = \frac{2 \times F}{d \times l \times \pi}$$

σ_z : Esfuerzo de tensión (MPa)

F: Fuerza de carga (N)

l: Longitud de la muestra (mm)

d: diámetro de la muestra (mm)

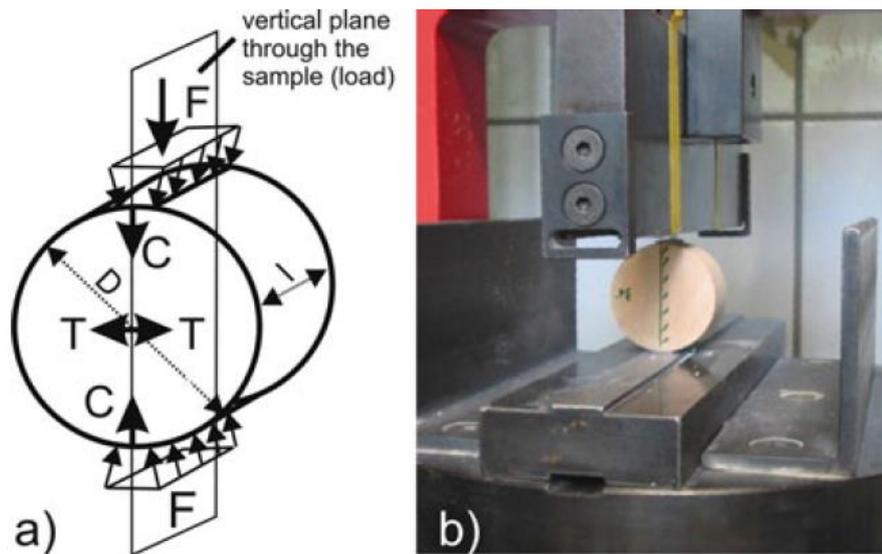


Figura. 12. Prueba de resistencia a la tracción o “ensayo brasileño”. a) Diagrama esquemático. b) Imagen de la configuración experimental del cuerpo rocoso. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011)

Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es una medida de resistencia a la tracción inducida por la curvatura y es una de las propiedades mecánicas de mayor consideración. Las roturas en las superficies de las rocas producidas por tensiones de flexión son más comunes que las causadas por compresión o cizalla (Siegesmund & Dürrast, 2011).

Las tensiones por flexión son generadas por efectos de succión del viento y presiones de este en fachadas, cargas de paneles de piedra en escaleras, entre otros factores. Se encuentran directamente asociadas a las condiciones de la superficie de la roca que es sometida a tal tensión (Fig. 13). Los valores menores de resistencia se obtienen cuando las cargas son aplicadas de manera perpendicular a la estratificación o foliación. El ensayo de tensión por flexión (puede ser mediante pruebas de cargas de tres o cuatro puntos) se simula esfuerzos de flexión en losas de rocas de espesor predeterminados (Frasca, 2014).

$$\sigma = \frac{3 \times F \times L}{4 \times b \times d^2}$$

σ : Resistencia a la flexión (MPa)

F: Carga máxima (kN)

L: Distancia entre rodillos inferiores (m)

b: Ancho del espécimen (m)

d: Espesor del espécimen (m)

La determinación de la resistencia a la flexión de un cuerpo rocoso es crítica a la hora de precisar su capacidad de uso, tanto en pavimentos como en diseño de fachadas de edificios, especialmente en paneles que serán fijados por el método de anclaje.

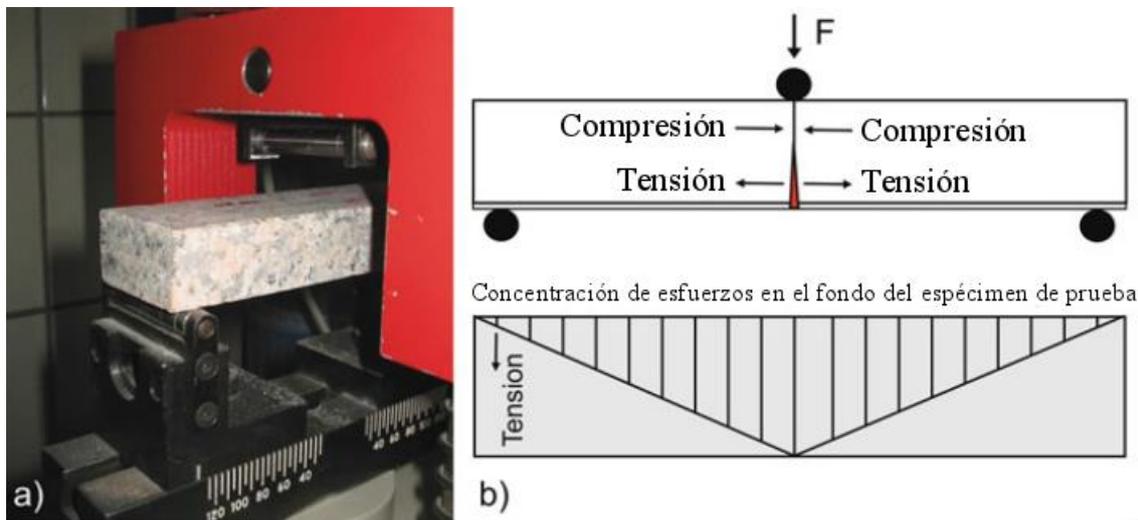


Figura. 13. a) Imagen de la configuración experimental para la determinación de la resistencia a la flexión. b) Representación esquemática de la configuración con regiones de compresión y tensión indicadas donde F es la dirección de la fuerza de carga. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011)

Resistencia a la abrasión

Esta propiedad refiere a la resistencia de una roca a la fricción, estando fuertemente influenciado por la composición mineralógica (dureza de los minerales) y la fábrica de las rocas (Siegesmund & Dürrast, 2011). La determinación de esta resistencia implica cuánto puede resistir una roca las fuerzas relacionadas con los pasos y el andar, la frecuencia de estos y el material de rozamiento, categorizando los pisos en función de su exposición: exposición baja (dormitorios, baños); exposición media (comedor, sala de estar); exposición alta (entrada de casas, recepciones, lugares públicos en general, entre otros). La fricción provocada por el tráfico de personas o de vehículos es objeto de estudio por varias normas diferentes, cuyos resultados no son comparables.

Una de las formas de determinación del desgaste es con el uso del tribómetro Böhme (detallado en la norma DIN 52108), que consiste en una “rueda de molienda” a la cual se le agrega una cantidad determinada de abrasivo y se coloca el espécimen de base cuadrada y dimensiones 71x71x25 mm (largo, ancho y altura, respectivamente). La rueda (o disco) gira y el rozamiento generado con el abrasivo determina el desgaste de la muestra, el cual es medido luego de un establecido número de vueltas. Por lo tanto, los valores más altos representan muestras con una resistencia a la abrasión más baja y los valores más bajos equivalen a muestras con una resistencia a la abrasión más alta (Fig. 14).

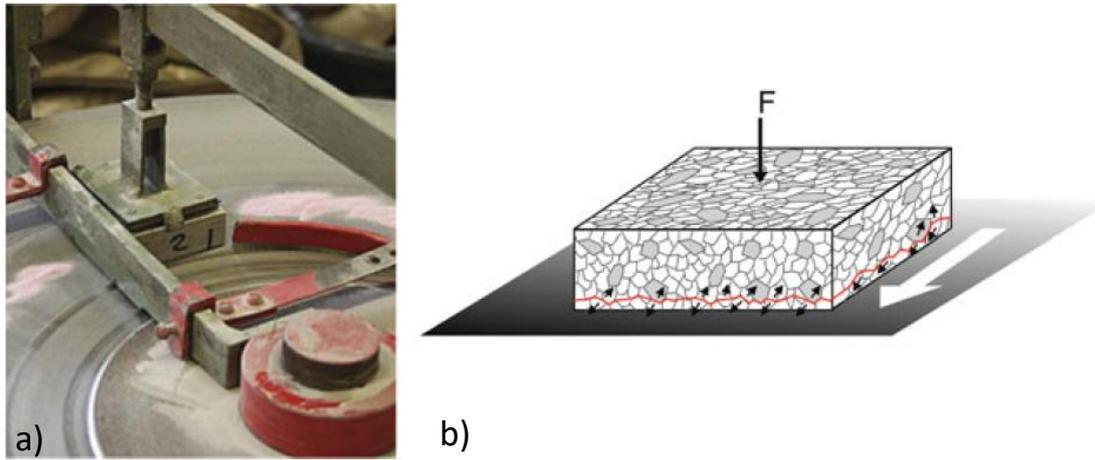


Figura. 14. a) Foto de la configuración con la muestra cúbica presionada sobre el disco giratorio. b) Representación esquemática de la abrasión en el contacto donde se empuja la muestra de roca con fuerza constante F sobre la molienda en movimiento rueda. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011)

Resistencia al anclaje

La resistencia al anclaje corresponde al valor de tensión o carga de ruptura de una placa de roca en los agujeros de anclaje. El anclaje en una placa cumple fundamentalmente dos funciones, una de ellas es tolerar el peso de la placa de revestimiento, y la segunda, de sujeción, mantener las unidades de revestimiento y resistir las cargas de presión del viento y succión (Siegesmund & Dürrast, 2011). Según Rohowski (2001) existe una cierta relación entre los valores de resistencia al anclaje y densidad aparente de las rocas.

El valor de esta resistencia es un factor condicionante de las dimensiones y peso que deba tener la placa. Según la norma DIN EN 13364 (2001), los materiales de prueba o ensayo deben tener dimensiones de 200×200×30 mm, y en el caso de losas, 200×200 mm. (Fig. 15). Cuando la fábrica de la roca presenta orientaciones preferenciales (foliación o capas sedimentarias) se debe realizar ensayos en las diferentes direcciones.

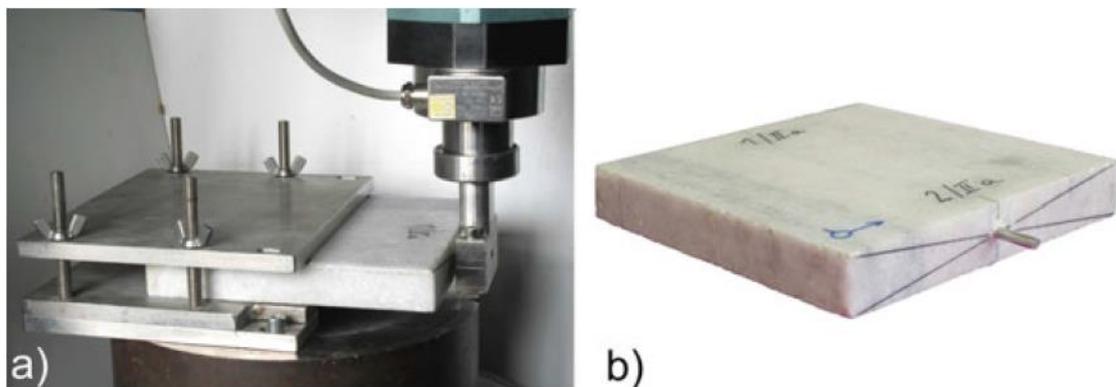


Figura. 15. a) Foto de la configuración experimental para probar la resistencia al anclaje. b) Muestra de roca con el “clavo” introducido en la posición central de la cara. Tomado de Siegesmund & Dürrast (2011).

Antecedentes

Antecedentes geológicos

Las rocas objeto de estudio en este trabajo corresponden a dos rocas sedimentarias detríticas de Uruguay: un conglomerado correspondiente a la Formación Las Ventanas (Midot, 1984) y una arenisca perteneciente a la Formación Tacuarembó (Bossi, 1966).

Conglomerado - Fm. Las Ventanas

La primera mención de esta unidad corresponde a la Brecha de Darwin, que fue descrita por el investigador inglés en 1832, y posteriormente por Walther (1919). En 1933, Macmillan cita algunas litologías de la unidad.

La Formación Las Ventanas fue definida como tal por Midot (1984), integrando dentro de la misma una sucesión epiclástica que aflora en el cerro de igual nombre y sus alrededores, al norte de la localidad (o ciudad) de Pan de Azúcar, al este de la Sierra de Ánimas.

Rocas conglomerádicas son incluidas por Preciozzi et al (1985) y Preciozzi et al (1990) dentro del Grupo Barriga Negra de edad Proterozoico Superior. Estos autores distinguen dentro del grupo tres unidades (conglomerádica, arenosa y calco-pelítica). Los materiales incluidos dentro de la Unidad Conglomerádica son considerados por otros autores como pertenecientes a la Fm. Las Ventanas (Midot, 1984; Masquelin & Sánchez Bettucci, 1993; Sánchez Bettucci & Pazos, 1993, 1996; Blanco & Gaucher, 2004, 2005; Pecoits, 2005; Gaucher et al., 2008; Spoturno, 2012). Bossi & Navarro (1988) hacen mención a rocas de esta unidad y las incorporan dentro del Grupo Lavalleya (Bossi 1966).

Sánchez Bettucci & Pazos (1993; 1996) describen la Fm. Las Ventanas incluyéndola dentro de lo que definen como Cuenca Playa Verde, e informando que sus afloramientos se encuentran dispersos, además de identificar brechas y conglomerados clasto-soportados compuestos por clastos provenientes del Complejo Sierras de las Ánimas y del Grupo Lavalleya. Se formula una edad post cambro/ordovícica en función de edades radiométricas (Sánchez Bettucci & Linares, 1996) y del paleoambiente interpretado.

Blanco & Gaucher (2005, 2014) separan la Fm. Las Ventanas en tres miembros (de base a tope): Miembro La Rinconada, Miembro Quebrada de Viera, y Miembro El Perdido. El Miembro La Rinconada, corresponde a la unidad de vulcanitas básicas y brechas (Blanco, 2004; Blanco & Gaucher, 2005), conformado por coladas basálticas y brechas volcánicas. El Miembro Quebrada de Viera corresponde a la unidad de conglomerados polimícticos y areniscas y conglomerados (Blanco, 2004; Blanco & Gaucher, 2005). Mientras que el Miembro El Perdido (tope de la formación) corresponde a la unidad de

pelitas laminadas (Blanco, 2004; Blanco & Gaucher, 2005), incluyendo pelitas con laminación conspicua y mostrando evidencias de ambiente disóxicos en la cima. En este trabajo (Blanco & Gaucher, 2005), correlacionan afloramientos cercanos a la ciudad de Minas con la unidad en cuestión. Blanco & Gaucher (2004) proponen que esta Formación representa una secuencia grano y estrato decreciente, que progresa de un ambiente de depositación continental (fundamentalmente abanicos aluviales) a un ambiente marino somero. Estos autores plantean que el área tipo de esta formación constituye un gran sinclinal (Sinclinal Cerro de Las Ventanas) cuyo eje tiene un buzamiento de 35° al S20W. El rumbo dominante es NNE con buzamientos que varían entre 25° y 80°. Además, estos autores describen por primera vez un conjunto de microfósiles de pared orgánica y estructuras de biomatas (*wrinkle structures*) de la unidad de pelitas laminadas. En base a los microfósiles se le asigna a la Fm Las Ventanas una posible edad Vendiano inferior (Varangeriano, ca. 600 Ma). Se asocia un ambiente geotectónico extensional, de rift. A su vez, establecen que la Fm Playa Hermosa podría ser una facies lateral de la Fm Las Ventanas, o bien encontrarse estratigráficamente por encima de la misma. Según el contenido micropaleontológico de la Fm Las Ventanas, los autores postulan una cercanía temporal con el Grupo Arroyo del Soldado, posiblemente anterior al mismo. Gaucher et al. (2008) describen en detalle los microfósiles de la Formación Las Ventanas, asignándole edad Ediacárico Temprano.

Pecoits et al (2008) definen el Grupo Maldonado donde incluyen hacia el tope a la Fm. Las Ventanas. Esta última ha sido redefinida por el mismo autor como una secuencia volcanosedimentaria metamorfizada en facies esquisto verde, de edad Vendiana (Pecoits 2002, 2003a, 2003b). Proponen la división de la Fm. Las Ventanas en dos facies: proximal y distal. Incluyen en la primera conglomerados clasto-soportados, areniscas masivas y estratificadas, conglomerados matriz soportado y pelitas pefito-psamíticas rojizas. Por otro lado, la facies distal comprende areniscas y limolitas, además de conglomerados de manera subordinada. Los autores proponen un ambiente de deposición para esta unidad costero asociado con *fan deltas*. Además, en la base de esta formación se describe la existencia de rocas volcánicas básicas y ácidas interestratificadas con las anteriormente mencionadas. Se propone una edad de depositación Vendiano inferior, basado en dataciones radimétricas de rocas que intruyen la unidad, del Granito El Renegado (Sanchez Bettucci, 1998) cuya edad (Rb/Sr) es 559±28 Ma (Preciozzi et al, 1993), y sienitas del Complejo Sierra de Las Animas que fueron datadas (Rb/Sr) en 520±5 Ma (Bossi et al, 1993). Estas edades estarían además en concordancia con la existencia de microfósiles de pared orgánica, destacando *Bavilinella faveolata* (Pecoits, 2003a). Pecoits et al (2005) sugieren una depositación en una cuenca tectónicamente activa con influencia glacial que se relaciona con la Glaciación Varanger (~600-560 Ma), basado en la existencia de *dropstones* en ritmitas de niveles basales de la unidad y a estudios previos (Pecoits 2003a) que sugerían condiciones climáticas frías.

A su vez, Pecoits et al (2005) correlacionan la Fm Las Ventanas con otras unidades de la Cuenca Camaquã (Rio Grande del Sur, Brasil) según similitudes, tanto en edad de magmatogénesis, como en sedimentación, deformación, litologías y ambiente de depositación. Además mencionan la existencia de litologías asignables a esta unidad en el Departamento de Lavalleja, como lo son las rocas que Oyhantçabal et al (2001) integran a la Unidad Peña Blanca, y conglomerados polimícticos interestratificados con arenas masivas que se encuentran sobre Ruta N° 12, al N de la cantera de calizas de la compañía C.U.P.C.S.A.

Blanco & Gaucher (2005, 2014) (Fig. 16) citan argumentos a favor de la hipótesis de un rift como ambiente geotectónico más factible para la Fm. Las Ventanas. Estos hacen referencia al vulcanismo bimodal sinsedimentario, fuertes paleopendientes, importantes espesores de depósitos psefíticos y la evolución de ambientes continentales a marinos. Asociando este evento extensional al haz de diques máficos de Nico Pérez (581 ± 13 Ma) y el Batolito de Puntas del Santa Lucía (633 ± 10 Ma), apuntando que el régimen tectónico imperante en el Terreno Nico Pérez entre 633 y 580 Ma fue claramente de carácter extensional.

Oyhantçabal et al (2009) confirman la ubicación cronoestratigráfica de esta unidad, mediante la datación en volcaniclásticas ácidas, obteniendo la edad de 573 ± 11 Ma (U-Pb en zircón).

Spoturno et al (2012) en el mapa geológico del Departamento de Maldonado, describen la Formación Las Ventanas como una secuencia vulcano-sedimentaria, que incluye sedimentos detríticos finos (metapelitas) a muy gruesos (metaconglomerados de cantos y bloques), donde se asocian niveles delgados de rocas volcánicas básicas y piroclásticas ácidas. Estos autores vinculan este conjunto al sistema continental extensional regional y proceso de depositación relacionados con episodios de abanicos proximales y distales, en ambiente subacuático.

Gaucher et al. (2014) plantean la invalidez del Grupo Maldonado según es definido por Pecoits et al. (2008), dado sus formaciones integrantes se encuentran separadas por la Zona de Cizalla de Sierra Ballena, y por lo tanto no son continuas ni asociadas. Asimismo, Gaucher et al. (2014) demuestran que la Fm. San Carlos es unos 40 a 50 Ma más joven que la Fm. Las Ventanas, no pudiendo ser correlacionadas con ésta.

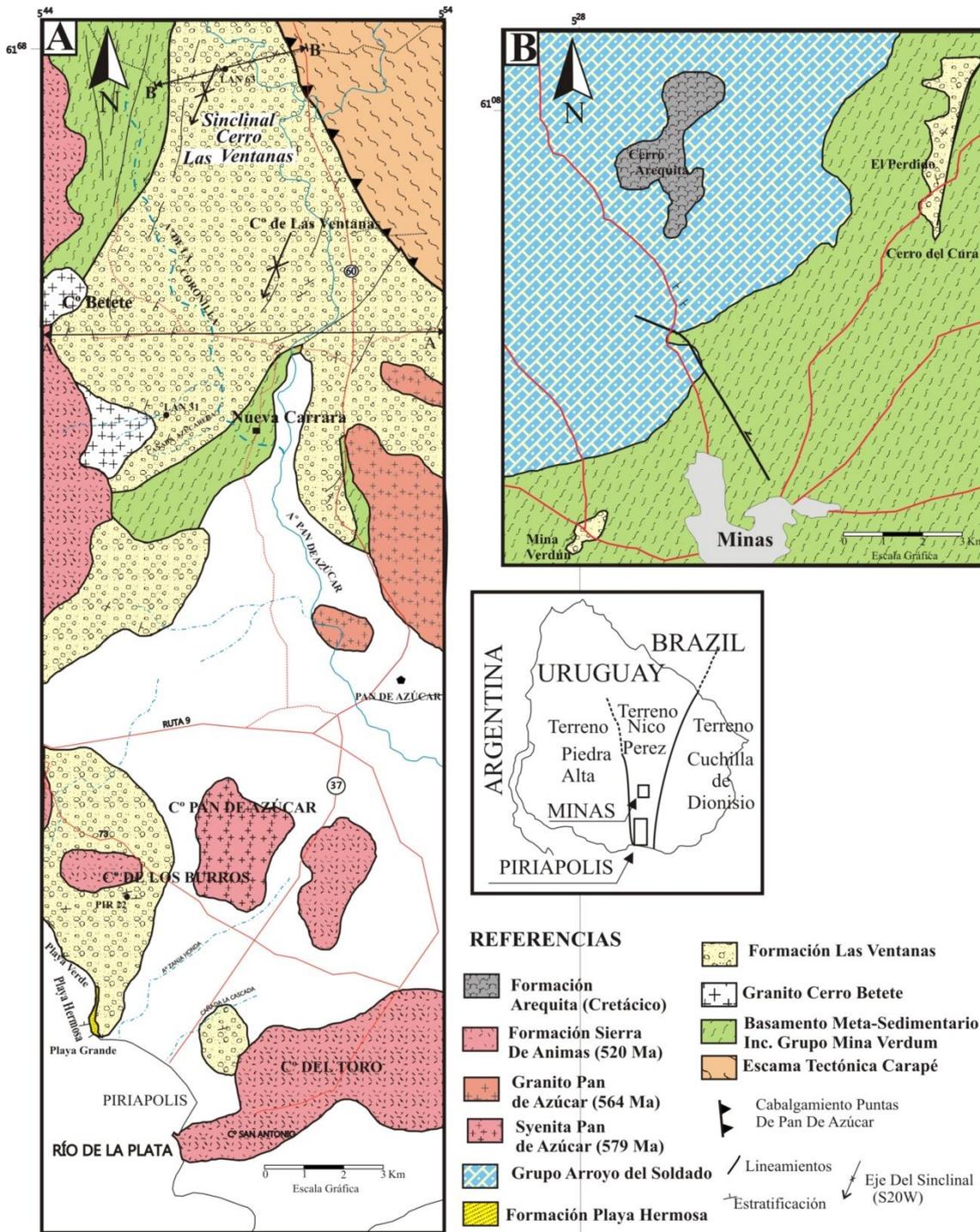


Figura. 16. Mapa geológico de la Fm. Las Ventanas. Tomado Blanco & Gaucher (2014)

Arenisca - Fm. Rivera (Fm. Tacuarembó – Miembro Superior)

La Formación Rivera se localiza al norte del Río Negro, aflorando en la región NE del país (departamentos de Tacuarembó, Rivera y Artigas) como una estrecha banda alargada en dirección N-S.

La primera caracterización de rocas de esta unidad fue realizada por Walther (1911). Posteriormente, Walther (1924) y Du Toit (1927) designan estas litologías como “Areniscas de Botucatú” correlacionándolas con la unidad aflorante en la región sur de Brasil. Falconer (1931) denomina estas rocas como “Areniscas del Tacuarembó” y en 1937 plantea que estas rocas pueden ser subdivididas en dos grupos: areniscas blandas y areniscas duras, además cita la existencia de fósiles de moluscos. Walther (1933) señala la presencia de peces óseos en la unidad. El hallazgo de estos restos fósiles apoyaba la idea de un origen subacuático para las areniscas (Falconer, 1937). Caorsi & Goñi (1958) proponen seguir con el criterio de Falconer (1931) y formulan que las areniscas de Tacuarembó son la consecuencia de la fosilización de dunas de clima árido, por lo tanto, se trata de una unidad principalmente eólica con episodios fluviales.

Bossi (1966) jerarquiza la unidad a nivel de formación y continua con el concepto propuesto por Caorsi & Goñi para el ambiente de depositación. Bossi et al (1975) proponen dividir la formación en dos miembros. El Miembro inferior (de origen acuático) constituido por areniscas finas, muy finas y medias, conglomerados intraformacionales, lutitas, fangolitas y limolitas, dominando las estratificaciones horizontales con abundantes estructuras lenticulares. El Miembro superior (depositado en un ambiente eólico, con condiciones climáticas áridas) incluye areniscas cuarzosas (fundamentalmente) de grano fino a medio, muy bien seleccionadas. Las estructuras que destacan, según estos autores, son estratificación cruzada de alto ángulo y gran porte de tipo tabular planar a tangencial. Mones (1978) reporta la existencia de restos fósiles de reptiles (familia de los cocodrilos).

Sprechmann et al (1981) mantiene el criterio de Bossi (1975) y distingue dos miembros en esta unidad, aludiendo que el Miembro inferior es el fosilífero, mientras que el Miembro superior destaca por la ausencia de fósiles y su origen eólico. A partir de correlacionar con unidades estratigráficas del sur de Brasil, ubica esta formación en el Triásico Superior.

Preciozzi et al (1985) mapean la unidad, y dan continuidad al criterio de Bossi (1975), incluyendo en el Miembro inferior areniscas cuarzosas, feldespáticas subordinadas, de tamaños finos a medios, bien seleccionadas, redondeadas a sub-redondeadas, con estructuras masivas y estratificación planoparalela y cruzada. Mientras que el Miembro superior lo componen areniscas medias y finas a medias, cuarzosas y feldespáticas, bien seleccionadas y redondeadas. Proponiendo un ambiente de

deposición fluvial para el miembro inferior y eólico en clima árido para el miembro superior.

Ferrando & Andreis (1986) identifican y separan “depósitos eólicos” de la base del Miembro Inferior de la Fm. Tacuarembó incluyendo estos dentro de lo que denominan Fm. Cuchilla de Ombú. Ferrando et al (1986) aumenta el nivel jerárquico a lo que Bossi et al (1975) denominaron Miembro Superior de la Fm. Tacuarembó, y lo nombra Fm. Rivera. Bossi & Navarro (1988) redefinen la Fm. Tacuarembó siguiendo los criterios propuestos por Ferrando et al (1986), y reducen su concepción al Miembro Inferior de Bossi et al (1975), marcando el límite superior con la base de la Fm. Rivera en el último episodio subacuático. Bossi et al. (1998) (Fig. 17) incluye dentro de la Fm. Rivera areniscas medias y medias a finas y finas de forma subordinada, de tonalidades rojizas, con estructuras cruzadas planar y en artesa y ocasionalmente tangenciales simple. En base a los antecedentes fosilíferos de la unidad estos autores citan la edad de depositación entre Triásico Superior y Jurásico Medio. Adicionalmente, proponen el Grupo Batoví Dorado, donde engloban las Formaciones Cuchilla de Ombú, Tacuarembó y Rivera (de base a tope). Bossi et al. (1998) cartografían estas tres formaciones.

França et al (1995) propone la correlación de la Fm. Tacuarembó con la Fm. Botucatu de Brasil. De Santa Ana & Veroslavsky (2004), proponen la Fm. Tacuarembó según el criterio de Bossi (1972). Perea et al (2009) reconoce y prosigue con el criterio de Bossi de dividir la formación en dos miembros, renombrándolos como Miembro Batoví y Rivera (inferior y superior, respectivamente). Esta línea de pensamiento es adoptada por Bochi do Amarante et al (2019), presentando un estudio detallado de los miembros inferior y superior. En el Miembro Batoví reconocen 5 facies, dunas eólicas, láminas de arena eólica, canales fluviales entrelazados perennes, canales fluviales efímeros y depósitos de láminas de inundación. El Miembro superior (Rivera), constituido por una asociación de facies de dunas eólicas. Mientras que el contacto entre ambos es a partir de una superficie subhorizontal, abrupta, plana o ligeramente irregular.

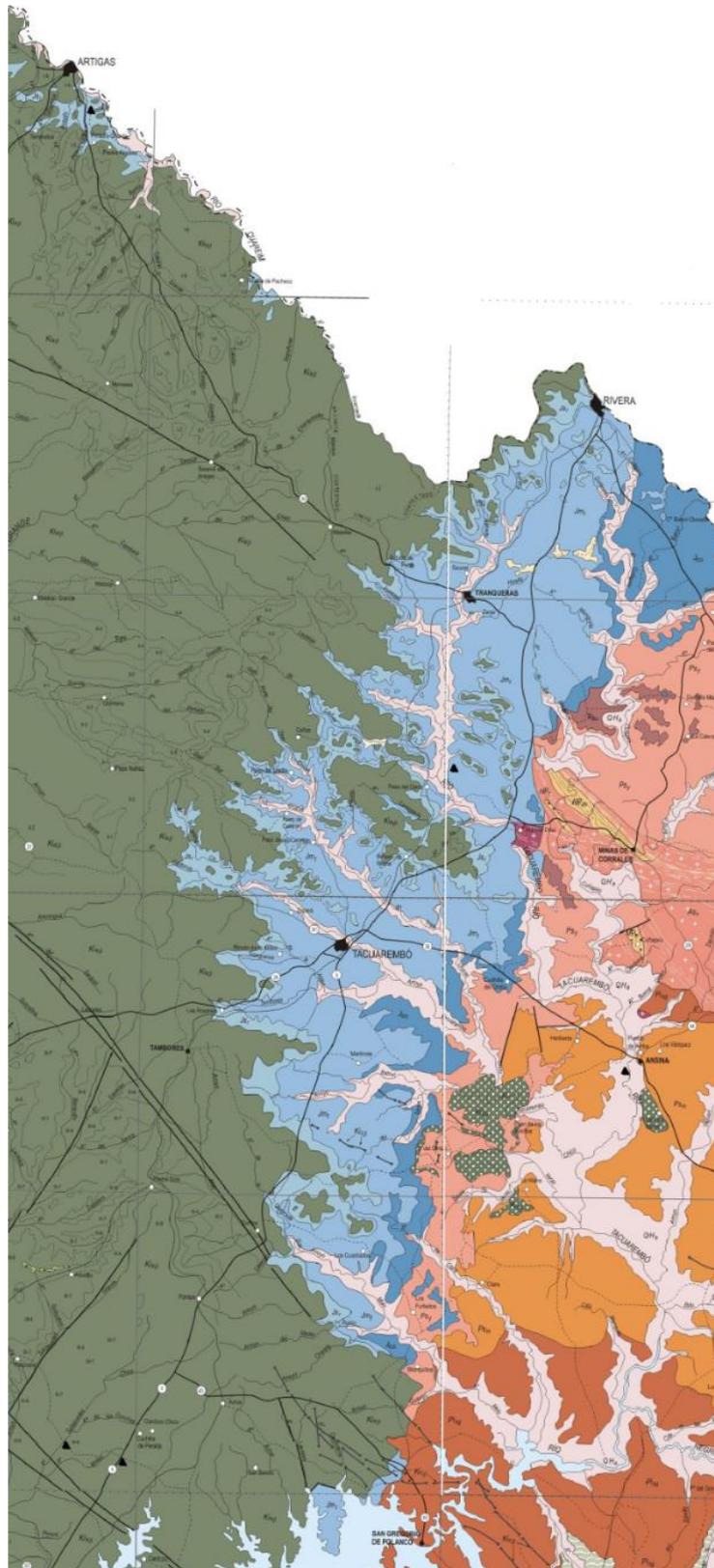


Figura. 17. Mapa geológico de la Fm. Rivera (Modificado de Bossi et al. 1998)

Aplicaciones de las rocas estudiadas

En nuestro país, el empleo de las rocas con fines ornamentales es una industria que se ha desarrollado desde hace más de 100 años. La primera mención en la bibliografía sobre la explotación y empleo de la Arenisca Tacuarembó como roca ornamental corresponde a Marstrander (1915). Este autor informa sobre canteras donde eran explotadas diversas variedades de rocas, entre las que se encuentra la arenisca extraída en la cantera “Sociedad Piedra Arenisca” en el departamento de Tacuarembó, y la cual era comercializada para su uso hacia Montevideo y Buenos Aires.

Existen diferentes edificaciones que usan la Arenisca Tacuarembó como material de revestimientos. La más conocida es el Edificio de ANCAP que fue construido entre los años 1945 y 1948, catalogada como la estructura más emblemática de la década de los años 40' (Sociedad de Arquitectos del Uruguay, 2016). Esta construcción fue desarrollada con la función de centralizar las diversas oficinas del ente público, y se emplearon placas de la Arenisca Tacuarembó para el revestimiento de las fachadas exteriores. Además, esta roca ha sido utilizada en otros diversos edificios de la capital e interior del país, tales como la Terminal de Ómnibus de Colonia del Sacramento, inaugurada en el año 2001, Radisson Victoria Plaza Hotel en Montevideo, entre otros.

Por otra parte, no se encuentran registros algunos en la bibliografía del uso del Conglomerado Las Ventanas como material de construcción en edificaciones u otras estructuras. Han sido identificados como de esta roca algunos botones y placas de conglomerado del Salón de los Pasos Perdidos en el Palacio Legislativo. Probablemente fueron explotadas bochas aflorantes de Conglomerado Las Ventanas en las inmediaciones de Cantera Burgeño, de donde se extrajo el Mármol Nueva Carrara utilizado en el revestimiento exterior del Palacio Legislativo y en parte del revestimiento interior (Fig. 18).



Figura. 18. Placa pulida de Conglomerado Las Ventanas (centro). Destaca el buen brillo que la roca alcanza al ser pulimentado.

Antecedentes técnicos de rocas ornamentales

Rocas ornamentales uruguayas

Aquí se citan algunos de los trabajos que corresponden a estudios de rocas ornamentales nacionales. En tal sentido, Morales Demarco et al. (2010, 2012 y 2012b) estudian y caracterizan variadas rocas ornamentales uruguayas de diferentes orígenes (granitos, sienitas, pizarras, entre otras). En este trabajo se citan algunas de estas y presentan sus propiedades físicas y mecánicas (Tabla 4).

Tabla 4. Valores físicos y mecánicos de algunas rocas ornamentales uruguayas. (Tomado de Morales Demarco et al. 2010, 2012 y 2012b)

Rocas	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Radio medio de poros (μm)	Resistencia Compresión Uniaxial (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Resistencia a la flexión (Mpa)	Resistencia a la abrasión (cm ³ /50cm ²)
Sienita Rojo Salmón	2,61	0,60	0,042	176,3	8,87	15,6	2,83
Sienita Artigas	2,66	0,72	0,077	137,7	5,77	7,3	3,43
Dolerita Negro Absoluto	2,99	0,05	0,097	379,3	17,9	50,2	2,27
Pizarra Camino Rufo	2,8	0,16	0,056	153	13,54	44,8	8,6
Basalto Arapey	2,94	0,98	0,032	228,3	11,1		3,8
Granito Gris Maldonado	2,54	0,48	0,051	189	8,3	20,4	2,2
Granito Moskart	2,66	0,58	0,07	170	7,7	8,3	2,8
Sienita Violeta Imperial	2,62	1,34	0,057	168	7,5	9,7	2,4

Areniscas en diferentes países

Siegesmund & Dürrast (2011) presentan datos físicos y mecánicos para diferentes areniscas de diferentes países. Aquí se citan valores correspondientes a rocas de Alemania y Tailandia (Tabla 5).

Tabla 5. Propiedades físicas y mecánicas de diferentes areniscas de Alemania y Tailandia. (Tomado de Siegesmund & Dürrast, 2011)

Roca	Origen	Densidad matriz (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Radio poros medio (μm)	Resistencia Compresión Uniaxial (Mpa)	Resistencia a la tracción (Mpa)	Resistencia a la flexión (Mpa)	Resistencia a la abrasión (cm ³ /50cm ²)
Bad Bentheim	Alemania	2,65	2,04	23,33	9,150	50,3	2,8	4,2	16,4
Schleerither	Alemania	2,72	2,29	14,15	0,105	76,8	6,8		
Weser	Alemania	2,65	2,47	6,29	0,060	149,8	8,4	21,3	12,3
Sikhiu Brown	Tailandia	2,66	2,38	10,52	0,144	147,5	8,7	16,7	9,9
Pachong Gree	Tailandia	2,73	2,53	7,23	0,053	103,2	5,7	10,7	12,9

Clasificaciones

Se han desarrollado clasificaciones de las rocas a partir de diferentes propiedades físicas o mecánicas. En este trabajo se hace referencia a algunas de estas que refieren a la densidad, resistencia a la compresión uniaxial y resistencia al anclaje.

Mosch & Siegesmund (2007) y Mosch (2009) proponen rangos de densidades aparentes en las cuales pueden incluirse diferentes tipos de rocas. En este trabajo se citan los rangos propuestos para las areniscas en función a su porosidad (Fig. 19)

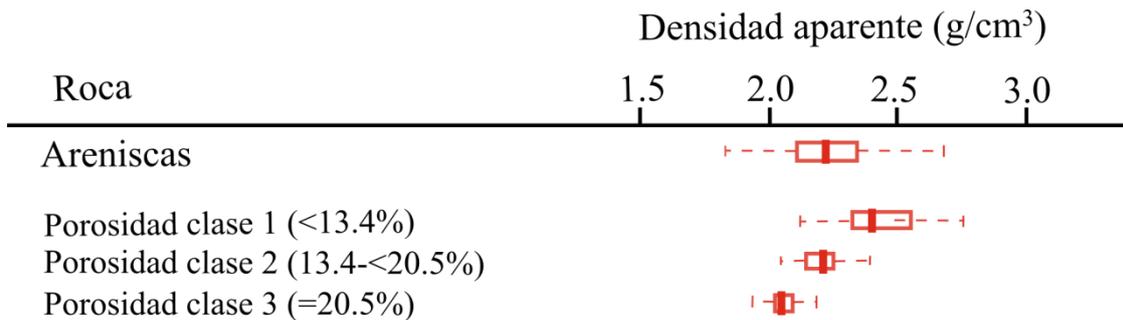


Figura. 19. Rango de densidades aparentes para areniscas (Mosch & Siegesmund (2007) y Mosch (2009))

Siegesmund & Dürrast (2011) proponen una clasificación para rocas a partir de los valores de la resistencia a la compresión uniaxial (UCS). Estas pueden catalogarse en rocas duras (valores de resistencia superiores a 110 MPa) rocas duras-media (valores entre 110 – 70 MPa) y rocas débiles (valores de resistencia entre 70 – 55 MPa).

La resistencia al anclaje se puede clasificar en función de los valores obtenidos: Bajo (< 0,98 KN); Medio (0,98 — 2,45 KN); Alto (> 2,45 KN).

Siegesmund & Dürrast (2011) presentan rangos de valores de resistencia a la abrasión (modificado de Müller, 2001) para diferentes tipos de rocas. Los mismos se presentan en la figura 20.

	resistencia a la abrasión				
	100	80	60	40	20
Granito + Tonalita					
Sienita + Gabro					
Lava					
Toba volcánica					
Areniscas					
Arcilla					
Caliza compacta					
Caliza porosa					
Mármol					
Serpentinita					
Paragneiss					
Cuarcita					

Figura. 20. Rango de valores de resistencia a la abrasión para diferentes rocas, según el método Böhme. Modificado de Siesgmund & Dürrast, 2011

Metodología

Durante este trabajo se desarrolló en primera instancia una revisión bibliográfica acerca de las rocas objeto de estudio (Arenisca Tacuarembó y el Conglomerado Las Ventanas), indagando libros, publicaciones, artículos científicos, tesis, cartas geológicas entre otros, buscando recopilar datos geológicos, de propiedades físicas y mecánicas existentes para estas unidades.

La fase 2 consistió en la descripción tanto macroscópica como microscópica de muestras de las unidades estudiadas. En la primera se desarrollaron tareas como conteo de puntos, determinación de color, grado de consolidación, textura, clasificación y madurez. El estudio microscópico (mediante el empleo de microscopio de luz polarizada) de tres láminas delgadas de cada roca. También se estudiaron y analizaron datos de las propiedades físicas y mecánicas de estas rocas, clasificándolas de acuerdo a estas propiedades, además de establecer la comparación con otras rocas similares del mundo.

Resultados

Conglomerado Las Ventanas

Descripción de afloramiento

El área tipo de La Fm. Las Ventanas se encuentra en el cerro homónimo y en el mismo esta roca aflora en forma de bochas de formas y dimensiones variadas.

En campo se estudiaron diferentes ejemplares de bochas agrupadas dentro del Miembro Quebrada de Viera (Blanco & Gaucher, 2005, 2014) ubicados sobre las faldas este y sur del Cerro de Las Ventanas (X: 660149 m; Y: 6161376; X: 659916 m E; Y: 6159016 m S). (Fig. 22)

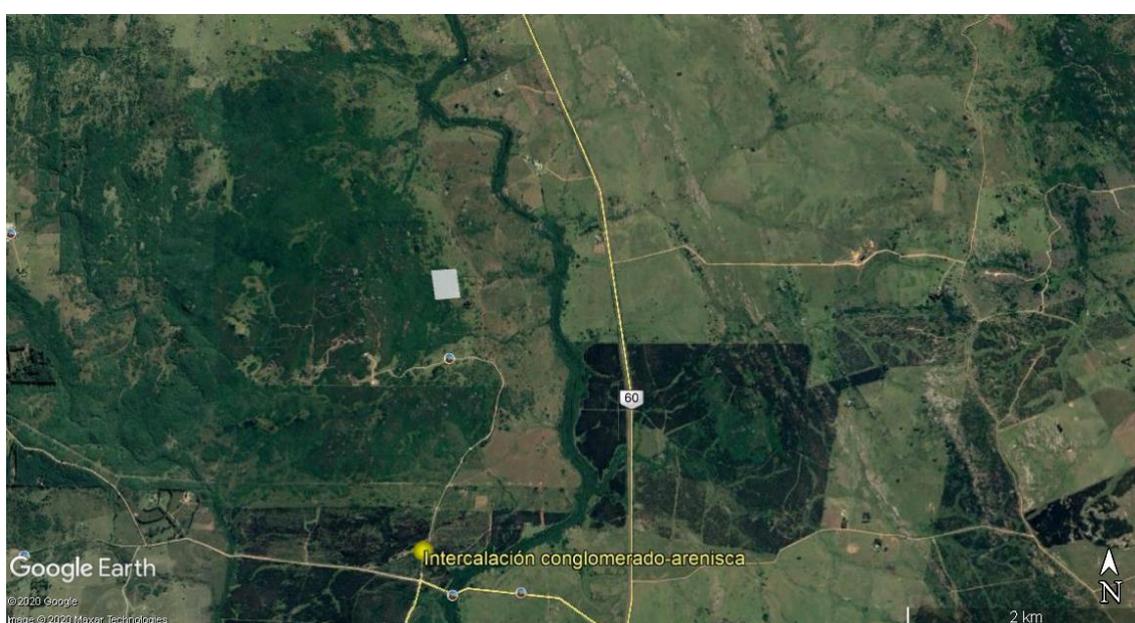


Figura. 22. Imagen ilustrativa de la zona (rectángulo blanco) y puntos de observación de bochas de conglomerado.

Las bochas estudiadas presentan dimensiones variables entre 73x90x30 cm hasta 425x127x163 cm en el sector sobresaliente del suelo. Las formas de las mismas no son perfectamente esféricas, sino que tienden a asemejarse a una estructura ovoide (Fig. 23). Se asume representatividad composicional y textural con el resto de bochas del cerro, aunque no así en dimensiones (se observan bochas de tamaños considerables, pudiendo ser distinguidas desde distancias lejanas al cerro e imágenes satelitales). Además, es importante remarcar la presencia de arenisca intercalada con el conglomerado en determinados afloramientos, que por lo tanto, constituye un aspecto a considerar desde el punto de vista económico frente a una eventual explotación de este recurso mineral.

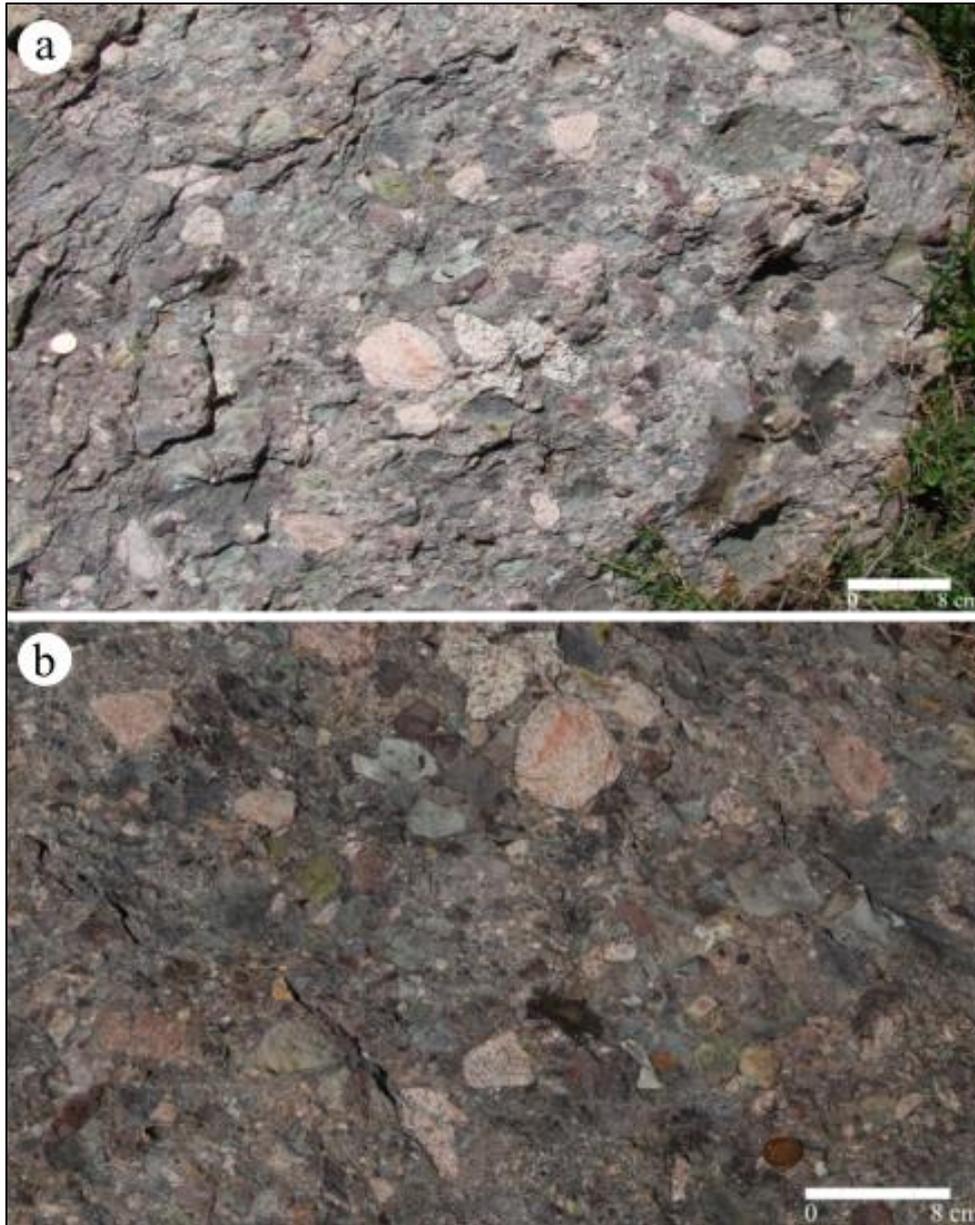


Figura. 23. a y b) Afloramientos característicos de Conglomerado Las Ventanas (Estancia La Celina, X:550354; Y: 6164039).

En muestra de mano se observa que el color de esta roca es fundamentalmente violáceo con pátinas de tonalidades rosadas, bordó y blancas (correspondientes a los clastos de mayores tamaños). El grado de consolidación es elevado (Fig. 24).

La relación esqueleto/matriz varía entre 65-70% y 30-35%. Los clastos que conforman el esqueleto son de composición heterogéneas, graníticos, máficos, metamórficos, cuarzosos y granos individuales de feldespatos. Las dimensiones de estos corresponden a 74 mm (tamaño máximo) y 2 mm (tamaño mínimo), mientras que la dimensión promedio se encuentra entre 5 y 15 milímetros. El grado de redondez de estos clastos varía entre sub-redondeado a redondeado. La matriz es arenosa, de

tamaños entre arena fina a muy gruesa. Las tonalidades son blanquecinas a grisáceas, distinguiéndose granos de cuarzo, feldespatos y fragmentos líticos.

La textura es principalmente clasto-soportada, y matriz-soportada de manera subordinada. El grado de selección se considera pobre a muy pobre. Posible cemento silíceo. Esta roca se puede clasificar como un orto-conglomerado de composición polimíctica (Boggs, 2009).

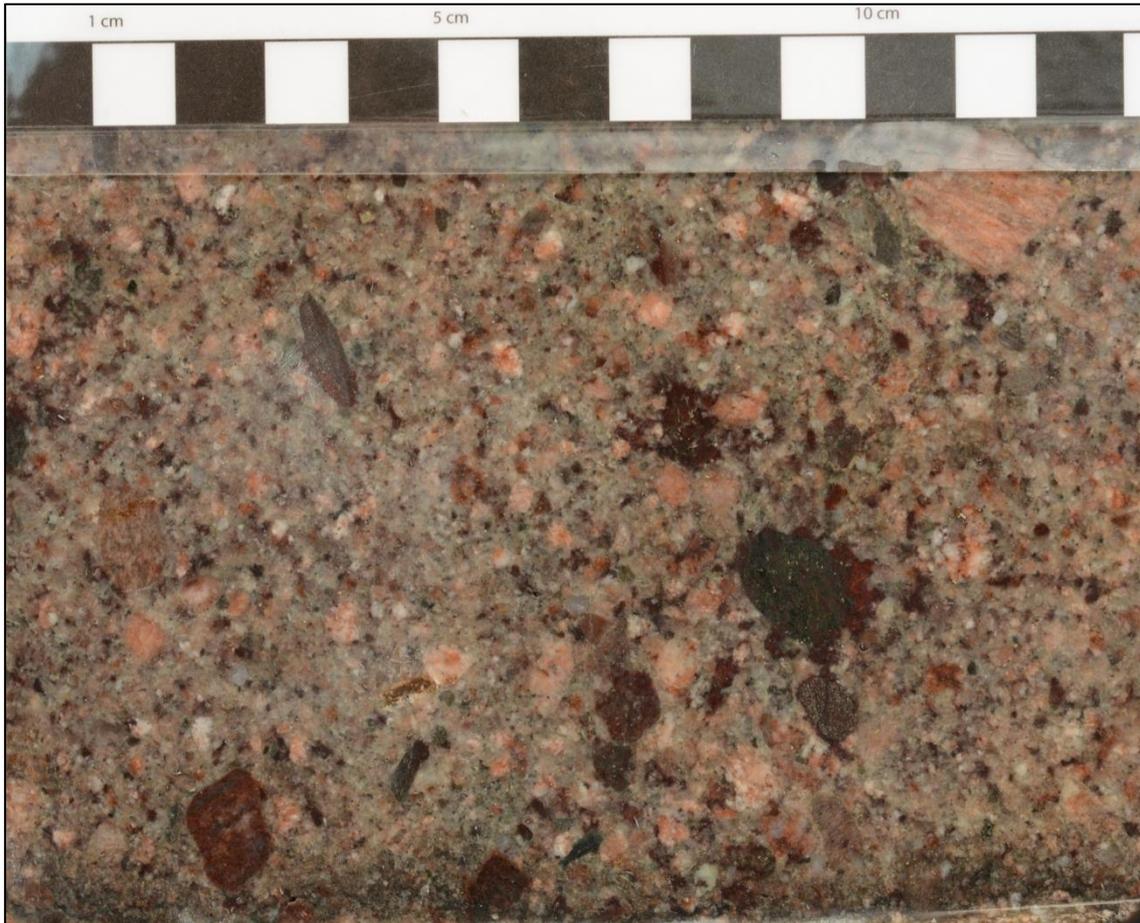


Figura. 24. Placa pulida de Conglomerado Las Ventanas. Sobresale el buen brillo que la roca adquiere al ser pulida.

Descripción microscópica (Fig. 25)

La roca es un orto-conglomerado (matriz arenosa), de tonalidad rojiza y tamaño de grano hasta 1,7 centímetros (gránulo). La relación esqueleto/matriz es aproximadamente 70-80%/20-30%. El esqueleto está compuesto por clastos de variada composición al igual que la matriz. El cemento es fundamentalmente de composición silíceo. En términos generales, se trata de un orto conglomerado polimíctico, mal seleccionado y textura clasto-soportado.

El esqueleto de esta roca está conformado por fragmentos líticos de composición granítica, además de traquitas, granos metamórficos (metaareniscas, entre otros), y granos minerales individuales, como feldespatos (microclina principalmente) y cuarzos. El mayor tamaño medido en las láminas delgadas estudiadas es de 17 milímetros (no implica que sean los tamaños de clasto mayores para esta roca, se reduce al espécimen estudiado), correspondientes a un limitado número de clastos. El tamaño promedio de los granos del esqueleto se encuentra entre 4 y 7 milímetros. La selección es muy mala.

Los clastos de composición granítica corresponden a un 30-45% del esqueleto. Los cristales que componen estos fragmentos alcanzan en algunos casos tamaños de hasta 2,5 mm, tratándose de clastos de tamaños medios. El grado de redondez de los clastos varía entre sub-redondeados a sub-angulosos (unos pocos angulosos), además presentan fracturas en algunos casos, diferentes grados de alteración a sericita en cristales de feldespatos. Algunos de estos clastos se observan desagregados.

Los fragmentos de traquita representan entre 35-50% aproximadamente del esqueleto. Se tratan de fragmentos de rocas de tonalidades oscuras, de hasta 11 mm, compuestos por cristales de feldespatos (varía la densidad o cantidad) de unos 1,4 mm (los mayores) en una “matriz” muy fina de color negro. La redondez de los clastos es heterogénea, variando entre sub-redondeados a angulosos. Los niveles de alteración son variados.

Otros clastos que se distinguen son de origen metamórfico y minerales “individuales” que corresponden a un 20-30% del total del esqueleto. Los clastos metamórficos tienen tamaños de hasta 3,6 mm aproximadamente, fracturados en algunos casos, mientras que el grado de redondez es fundamentalmente sub-anguloso. Los fragmentos minerales incluyen granos de feldespatos y cuarzo. En el primer caso, los clastos presentan tamaños variados, hasta 4 milímetros, siendo posible distinguir otros cristales de menor dimensión “incorporados” en estos. El grado de alteración a sericita es heterogéneo, desde poco alterado a fuertemente alterados, con microfracturas en algunos clastos. La redondez de estos clastos varía entre sub-redondeada a sub-angulosa.

La matriz de esta roca es arenosa, de tamaño variable entre arena gruesa a muy gruesa (algunos granos cercanos a los 1,9 milímetros), aunque se diferencian otros de dimensiones inferiores, siendo el promedio de 0,53 mm aproximadamente. La selección se considera mala. La composición es similar a la del esqueleto, estando compuesta por granos de cuarzo (mono y policristalinos), sub-angulosos a sub-redondeados, con microfracturas; feldespatos alcalinos, sub-angulosos, fuertemente alterados y microfracturados; plagioclasas alteradas y microfracturadas; fragmentos líticos (similar composición al esqueleto) y minerales accesorios como hematitas y zircón.

Según la composición del esqueleto y matriz, es factible mencionar la existencia de una cierta “continuidad composicional” en esta roca, entre el esqueleto y la matriz. Se distingue cemento de composición silícea englobando parte de algunos granos. La textura de esta roca en la lámina es principalmente clasto-soportada. Se puede clasificar como un orto-conglomerado (matriz arenosa), de composición polimíctica.

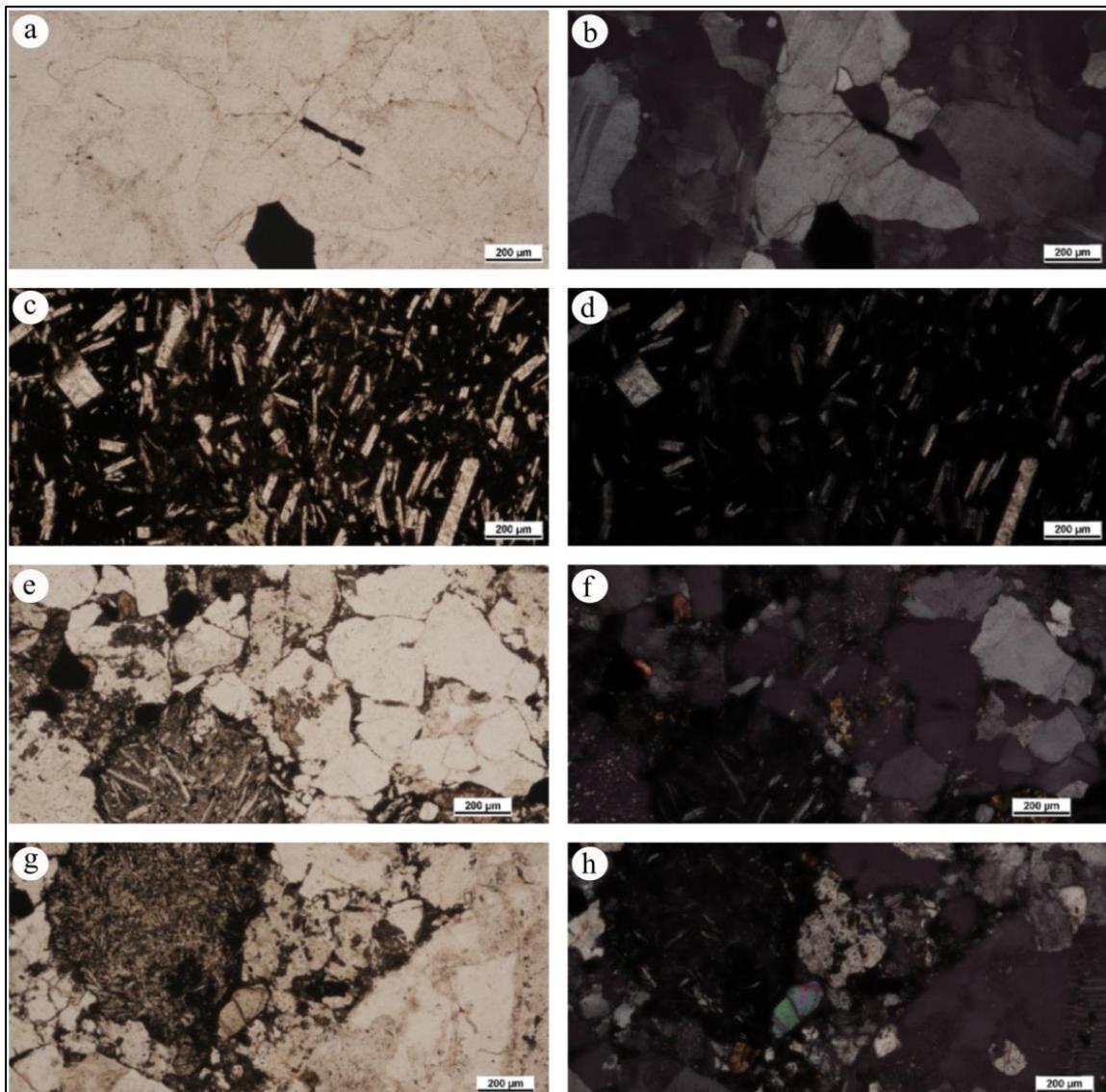


Figura. 25. Conglomerado Las Ventanas visto en microscopio óptico. a y b) Fragmento de clasto granítico, visto con luz polarizada plana y con polarizadores cruzados, respectivamente. c y d) Clasto de traquita en luz polarizada plana y con polarizadores cruzados. e y f) Vista de la matriz arenosa de esta roca. g y h) Vista en detalle de la composición de la matriz, distinguiéndose hacia el centro de las imágenes mineral de zircón.

Arenisca Tacuarembó

Descripción de Cantera Arenisca Tacuarembó de Giuseppe Rufo

En el presente trabajo final no se pudo visitar la cantera de Arenisca Tacuarembó de Giuseppe Rufo (Fig. 26), activa hasta finales de la década pasada, pero sí se contó con datos proporcionados por la docente orientadora, que se analizaron y se presentan aquí por primera vez.

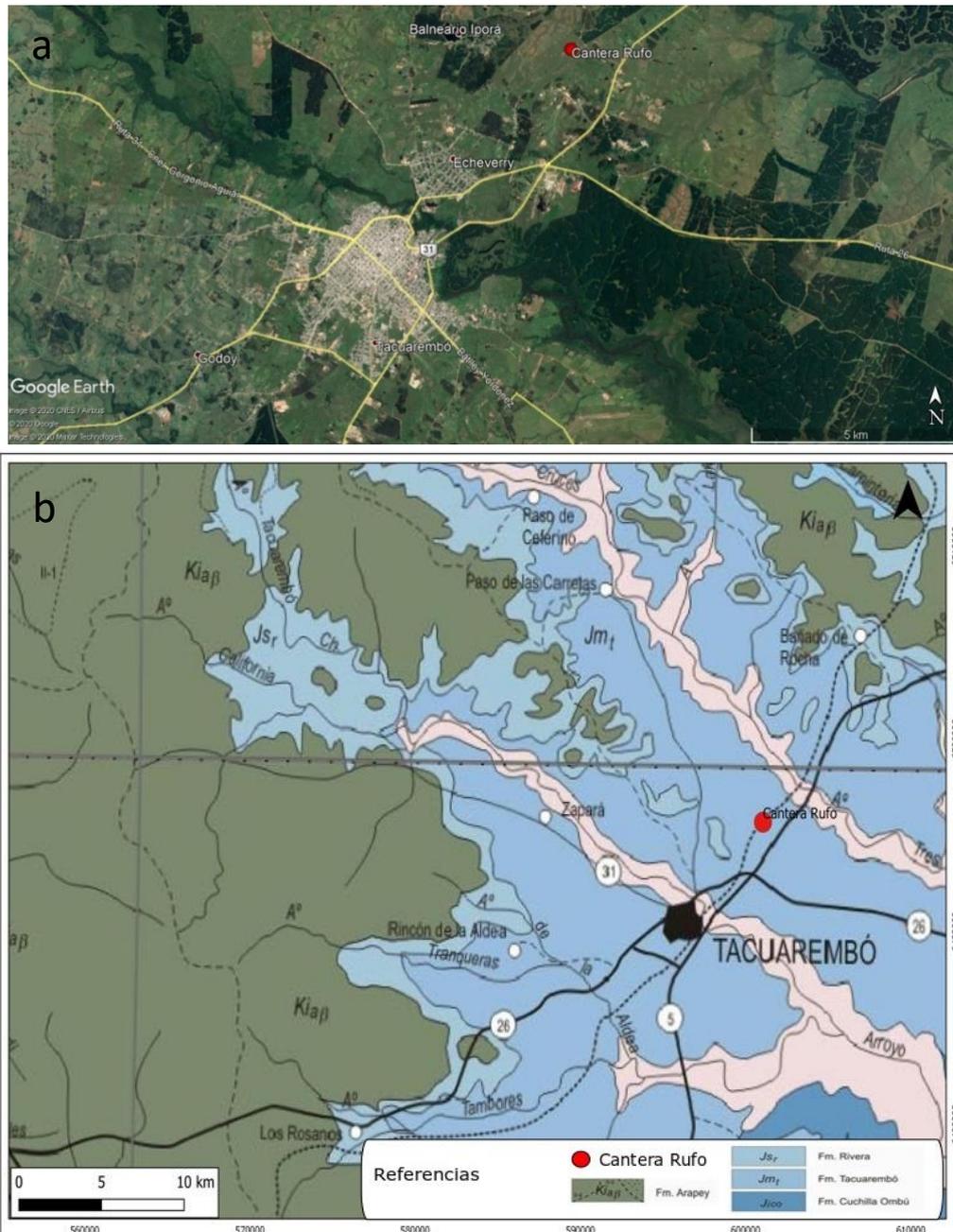


Figura. 26. Ubicación de Cantera Rufo, lugar de extracción de la arenisca estudiada. a) Imagen Google Earth mostrando la ubicación geográfica de la cantera donde se extrae la Arenisca Tacuarembó. b) Fragmento de la carta geológica presentada por Bossi et al. (1998) con la ubicación de la Cantera Rufo

La roca estudiada pertenece a la Fm. Rivera (Miembro superior de la Fm. Tacuarembó para algunos autores) y se trata de una roca de tonalidades fundamentalmente amarillentas, de grano fino. La mineralogía la componen granos de cuarzo esencialmente, no obstante, en algún sector se distinguen láminas de minerales máficos (colores más oscuros), de menor tamaño que los cuarzos.

Se diferencian variaciones en el porcentaje de arcilla en la matriz. La estratificación es plano paralela, horizontal y cruzada (de diferentes ángulos), aunque existen secciones de la cantera donde la roca es masiva (y a su vez, más tenaz). (Fig. 27)

Se reconocen dos sistemas de fracturas, el primero con direcciones SWW-NEE, buzando al NW y SE, mientras que el otro con rumbos SSE-NNW, buzando al NE y SW. En ambos sistemas, los ángulos de buzamiento son subverticales. Además en algunos casos estas fracturas se encuentran rellenas de arcilla de color gris, además de zonas de alteración asociadas.

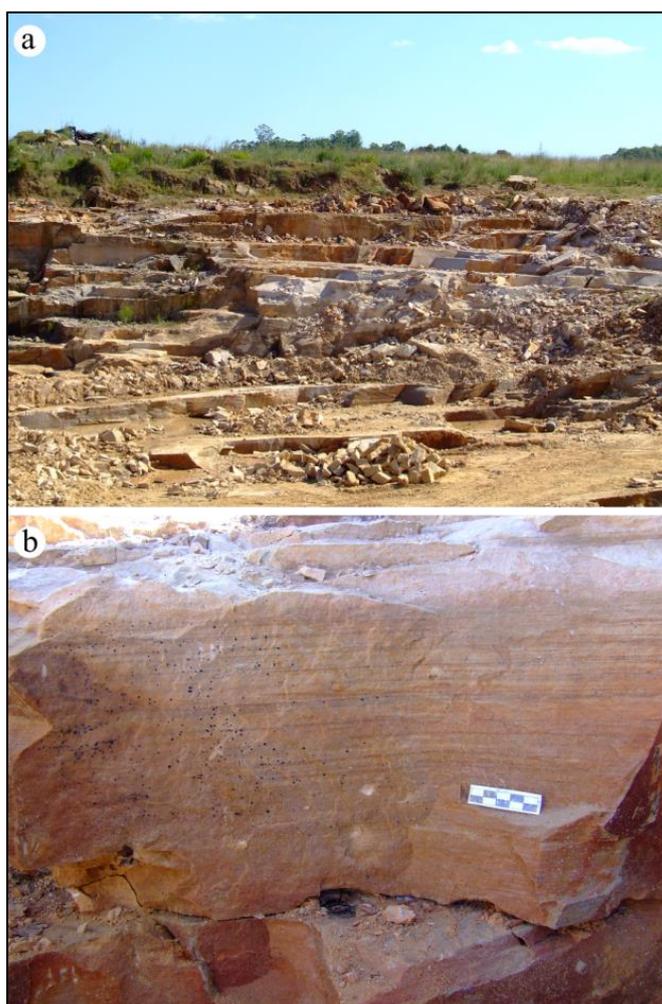


Figura. 27. a) Vista general de cantera de arenisca de Giuseppe Rufo. b) Bloque de arenisca extraído en cantera.

En muestra de mano, se trata de una arenisca de tamaño de grano medio a fino, de tonalidades principalmente amarillentas, con bandas rojizas. El grado de consolidación es bajo, siendo, por lo tanto, bastante friable.

La composición de los granos distinguibles con lupa es de cuarzo, feldespatos y algunos pocos máficos (aproximadamente 98%, 1% y 1% respectivamente). Los tamaños de estos fragmentos minerales no superan el milímetro casi en su totalidad. Mientras que el grado de redondez varía entre sub-redondeado a sub-anguloso, fundamentalmente. La selección de los granos se considera buena a muy buena. El cemento es de composición ferruginosa. Se trata de una roca estratificada, (estratos de hasta 13 mm de espesor) y con laminación plano paralela (Fig. 28).

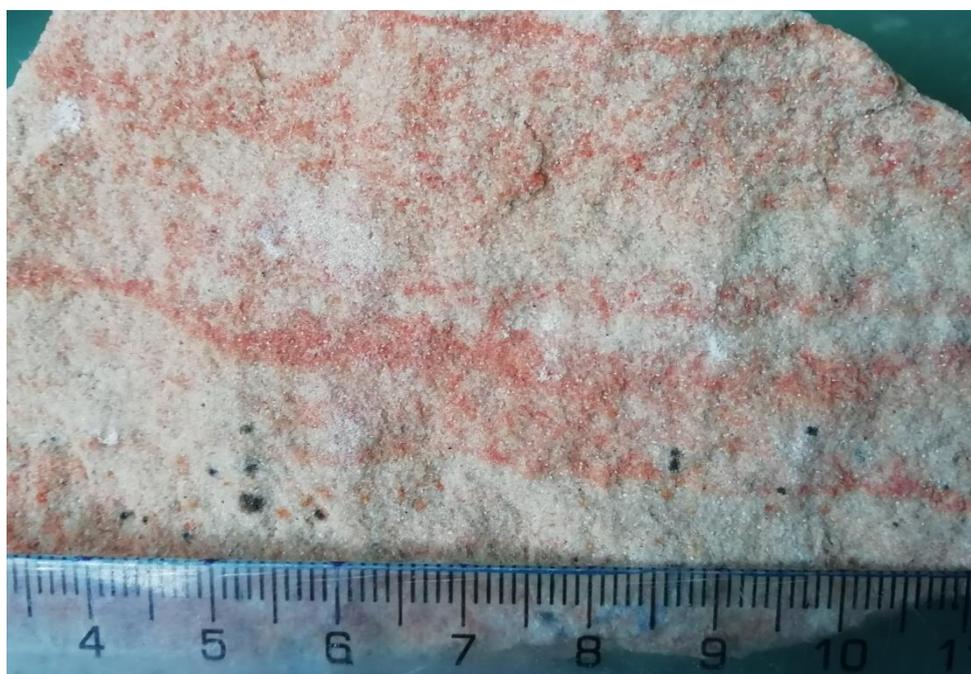


Figura. 28. Muestra de mano correspondiente a Arenisca Tacuarembó.

Descripción microscópica (Fig. 29)

Esta roca corresponde a una arenisca de grano fino a medio, de composición cuarzosa. El tamaño de grano máximo de la fracción detrítica es de 660 micras, aunque corresponde a unos pocos granos, siendo más conspicuo entre 150 y 250 micras (arenisca fina a media). El grado de selección de los granos se considera bueno a muy bueno.

Los granos de cuarzo corresponden a la mayoría de la fracción detrítica (superior a 95%), siendo fundamentalmente monocristalinos, aunque se encuentran algunos policristalinos. Es común la presencia de inclusiones fluidas, además de extinción ondulante, microfracturas y oquedades en algunos granos. Además, se distingue

sobrecrecimiento de cuarzo y una pátina de óxido de hierro que los recubre parcialmente.

Los feldespatos representan entre el 1-2% de los granos detríticos. Principalmente se trata de microclinas, aunque es posible diferenciar ortoclasas y algunas plagioclasas. Los granos suelen lucir alteraciones y microfracturas.

Los fragmentos líticos constituyen entre 1-2% del total de la fracción detrítica, siendo granos o fragmentos de origen sedimentarios y graníticos. Los minerales accesorios representan entre 1-2% de los detritos, encontrándose hematita y otros minerales opacos, micas (biotita fundamentalmente) y zircones.

El cemento es de dos tipos. El más abundante es de composición óxido de hierro, y consiste en pátinas o películas que recubren parcialmente los bordes de los granos minerales. Podría tratarse de un fenómeno común en areniscas formadas a partir de un clima árido conocido como barniz del desierto. El otro cemento es de composición silíceo y de tipo sintaxial, se trata de sobrecrecimiento en granos de cuarzo.

El grado de redondez de los granos varía entre sub-redondeados a sub-angulosos; los contactos entre los detritos varían entre rectos, cóncavos-convexos y puntuales. La textura principal es grano soportado, aunque es posible diferenciar matriz soportada en pequeños sectores de forma inusual.

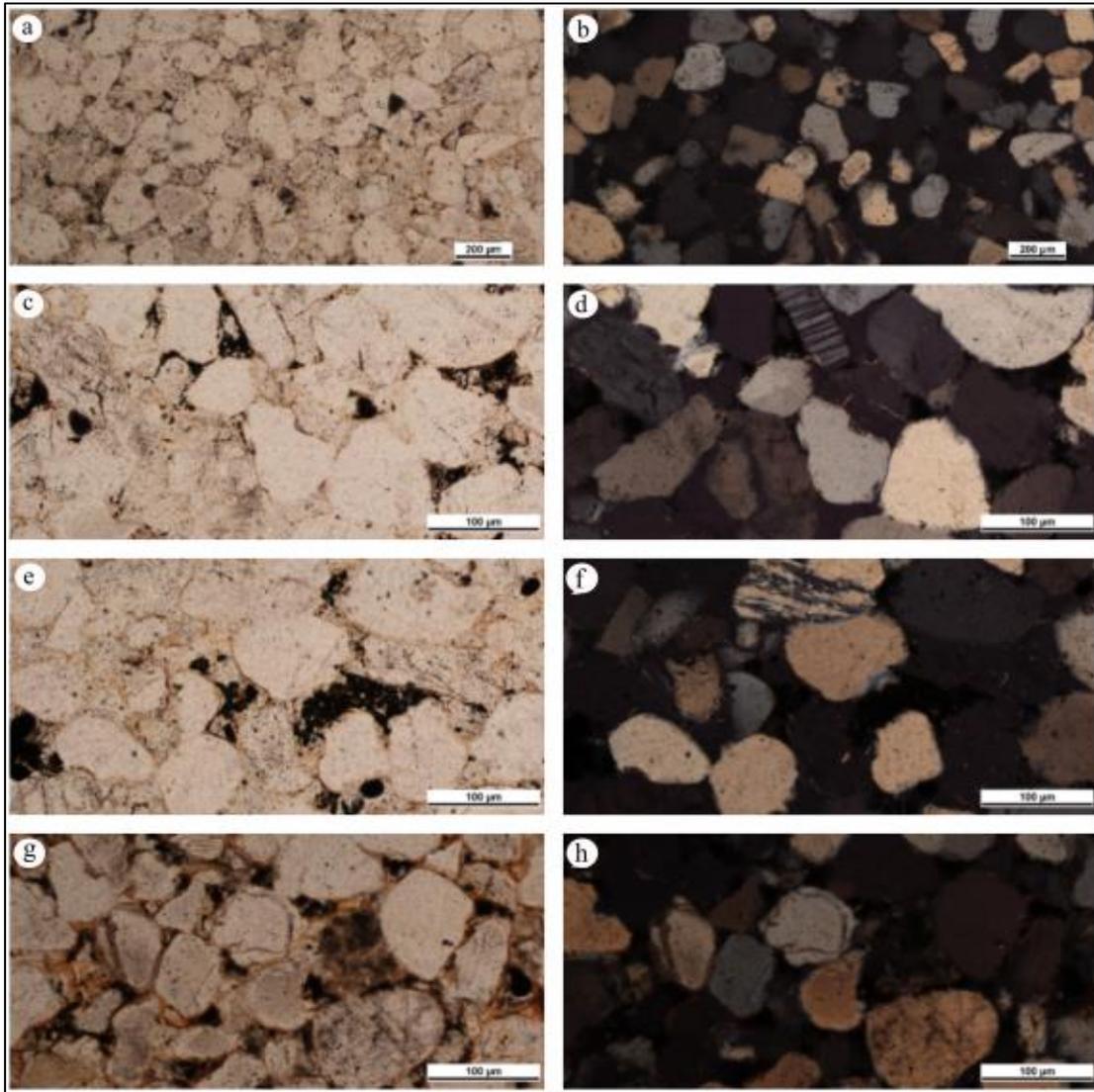


Figura. 29. Arenisca Tacuarembó visto en microscopio óptico. a y b) Textura general de la roca visto en luz polarizada plana y polarizadores cruzados, respectivamente. c y d) Vista en detalle de granos de Qz y Fd. e y f) Fragmentos líticos en luz polarizada plana y polarizadores cruzados. g y h) Vista de los tipos de cementos en esta roca.

Propiedades físicas y mecánicas

Los ensayos de estas rocas fueron realizados en los laboratorios del Departamento de Geología Estructural y Geodinámica de la Universidad de Gotinga, Alemania (Morales Demarco, com. pers.).

Tabla 6. Propiedades físicas y mecánicas del Conglomerado Las Ventanas

Conglomerado Las Ventanas	Propiedades físicas	Densidad aparente (g/cm ³)		2,65
		Densidad de matriz (g/cm ³)		2,67
		Porosidad (%)		0,71
		Porosidad efectiva (%)		0,45
		Radio medio de poros (μm)		0,07
		Radio de poros más frecuente (μm)		0,02
	Dilatación térmica	x (mm)	7,41x10⁻⁶	
		y (mm)	7,87x10⁻⁶	
		z (mm)	8,27x10⁻⁶	
	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)	x	154,0 ± 13,5
			y	170,3 ± 13,6
			z	172,9 ± 19,9
		Resistencia a la tracción o tensión indirecta (MPa)	x	11,1 ± 2,6
			y	13,6 ± 2,9
			z	13,1 ± 4,0
Resistencia al anclaje (kN)		1	3,21 ± 0,57	
		2a	3,27 ± 0,33	
		2b	3,34 ± 0,53	

Tabla 7. Propiedades físicas y mecánicas de la Arenisca Tacuarembó

Arenisca Tacuarembó	Propiedades físicas	Densidad aparente (g/cm ³)	2,03	
		Densidad de matriz (g/cm ³)	2,63	
		Porosidad (%)	22,81	
		Porosidad efectiva (%)	22,23	
		Radio medio de poros (μm)	12,09	
		Radio de poros más frecuente (μm)	13,34	
		Dilatación térmica	x (mm)	7,25x10⁻⁶
	y (mm)		7,63x10⁻⁶	
	z (mm)		7,81x10⁻⁶	
	Propiedades mecánicas	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)	x	27,7 ± 3,7
			y	27,2 ± 2,6
			z	41,9 ± 5,4
		Resistencia a la tracción o tensión indirecta (MPa)	x	2,35 ± 0,39
			y	3,12 ± 0,45
			z	1,76 ± 0,38
		Resistencia a la flexión (MPa)	x	4,71 ± 0,28
			y	4,44 ± 0,66
			z	3,05 ± 0,19
		Resistencia a la abrasión (Desgaste en volumen (cm ³) cada 50 cm ²)	x	52,68
			y	51,50
			z	65,15
Resistencia al anclaje (kN)		1	0,65 ± 0,15	
		2a	0,85 ± 0,10	
	2b	0,79 ± 0,10		

* x; y; z: direcciones de ejes de roca

Estado de deterioro

El relevamiento preliminar del estado de deterioro de la Arenisca Tacuarembó se realizó a partir de estudiar tres edificaciones de la ciudad de Montevideo, en donde fueron empleadas placas de esta arenisca como revestimiento de paredes exteriores (Radisson Montevideo Victoria Plaza Hotel, Edificio ANCAP e Iglesia Matriz). Este relevamiento consistió en recorridas de los exteriores de estos edificios seleccionados (a nivel de superficie), observando y caracterizando los tipos de deterioros presentes en la roca.

El Radisson Montevideo Victoria Plaza Hotel fue inaugurado durante el siglo pasado, en el año 1952, y modificado en diferentes momentos entre los años 1980 y 1990 (Montevideo Portal, 2017). En esta edificación fueron identificadas las cinco familias de deterioros propuestas por ISCS-ICOMOS (2011), como se presenta en la Tabla 8 junto con alguna característica reconocida en esta edificación.

Grietas y deformación

Tipos:

- Grietas: Como subtipo de esta, fracturas. Son frecuentes en varias placas, y no se aprecia un patrón definido ya que sus direcciones son variables, al igual que sus dimensiones. Es evidente la restauración de varios ejemplares de este deterioro mediante el recubrimiento con revoque. En el caso de las grietas, las hendiduras no atraviesan el total de la placa de roca, mientras que en las fracturas sí ocurre.

Desprendimientos

Tipos:

- Fragmentación: Fenómeno que se da con relativa frecuencia, y en muchos de los casos, las de mayor dimensión, han sido reparadas mediante revoque. Además se reconoce el subtipo desconchadura.
- Descamación: Se reconoce de manera aislada en pocas placas, asociado a cristalización de sales y colonización biológica.

Rasgos inducidos por pérdida de material

Tipos:

- Alveolización: Se reconoce el subtipo craterización, las dimensiones de los mismos son variadas (del orden milimétrico) y varios ejemplares se reconocen reparados con revoque y posterior recubrimiento con pintura.
- Erosión: Incluye los subtipos erosión diferencial (pérdida de matriz), redondeamiento e incremento de rugosidad. En el primer caso, se da frecuentemente con mayor o menor densidad. El redondeamiento es común en los bordes de placas, especialmente en aquellas que revisten bordes del edificio. El incremento de rugosidad no es habitual, sino que se da en las placas en las cuales se pretendió limpiar graffitis existentes.

- Faltante: Reconocido en determinadas placas, en muchos de estos casos han sido reparados.
- Perforación: Son de relativa frecuencia en diferentes placas, tamaños variables (orden milimétrico) y en algunos casos han sido rellenadas.

Alteración cromática y depósito

Tipos:

- Depósito: Corresponde fundamentalmente a excrementos de aves.
- Alteración cromática: Se diferencian tres subtipos, decoloración, manchas de humedad y tinción. Las dos primeras, se desarrollan en diferentes placas expuestas a la intemperie, la decoloración se expone por el blanqueamiento de superficies de placas, mientras que las manchas de humedad manifiestan tonalidades oscuras. La tinción corresponde a manchas de óxidos a partir de piezas metálicas en la pared.
- Película: Corresponde al resultado del recubrimiento superficial de las capas con pintura.
- Graffiti: Se da en algunas placas, en los niveles inferiores.
- Enmugrecimiento: Posiblemente corresponda al depósito de partículas del ambiente generadas por la polución, entre otros. Extendido en determinados sectores del edificio al abrigo de la lluvia y viento.

Biocolonización

Tipos:

- Colonización biológica: Población de origen biológico, aunque no es posible establecer distinciones. En diferentes sectores del edificio.
- Líquenes: En fracciones inferiores de la edificación.

Tabla 8. Deterioros según ICOMOS reconocidos en el Hotel Radisson

Radisson Montevideo Victoria Plaza Hotel				
Construcción	1952			
Reparación	1980-2000			
Deterioros	Familia	Tipos	Subtipos	Características
	Grietas y deformación	Grietas	Fracturas	Muchas de estas son inferidas, aparentemente reparadas (rellenas); Espesor variable; Direcciones horizontales y verticales
	Desprendimiento	Fragmentación	Desconchaduras	Muchas de estas (las más grandes) han sido reparadas
		Descamación		Asociado a biocolonización y precipitación de sales
	Rasgos inducidos por pérdida de material	Alveolización	Craterización	Inferido. Algunos alveolos han sido rellenados (reparados) y pintados
		Erosión	Erosión diferencial (pérdida de matriz)	Erosión heterogénea en placas
			Redondeamiento	Evidente en aristas de placas
			Incremento de rugosidad	Posiblemente sea consecuencia de limpieza de grafitis, entre otros
		Faltante		
		Perforación		Rellenas en algunos casos; de diferentes tamaños
	Alteración cromática y depósito	Depósito		Desechos orgánicos
		Alteración cromática	Decoloración	Blanqueamiento de las superficies expuestas a la intemperie
			Manchas de humedad	
			Tinción	Colores oscuros; debido a placas (números) identificativas de edificación
		Película		
		Graffiti		
		Película		Capa de pintura que recubre la superficie de la roca
		Enmugrecimiento		
	Biocolonización	Colonización biológica		Película biológica
		Líquenes		
Observaciones		Recubrimiento con pintura en fachada externa, además de gran cantidad de reparaciones mediante revoque en huecos y cavidades existentes en la placa		

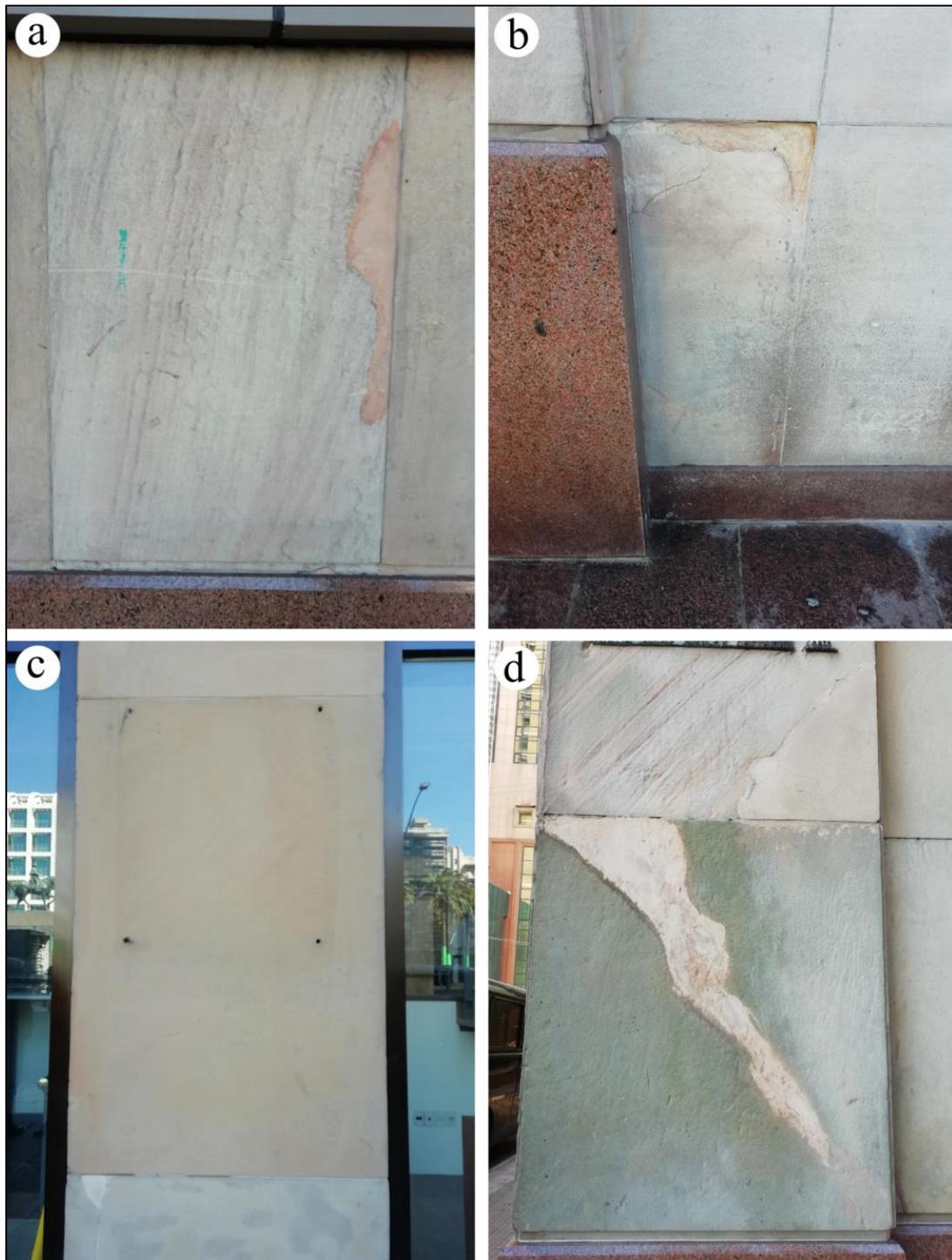


Figura. 31. Algunos de los deterioros reconocidos en el Hotel Radisson. Como se observa, es evidente el recubrimiento de pintura y revoque en algunos casos. a) Erosión diferencial y graffiti (letras en color verde); b) Pieza faltante, grietas, redondeamiento y enmugrecimiento; c) Perforación (presuntamente había una placa metálica en ese lugar); d) Erosión diferencial, grietas y mancha de humedad. Como se observa en esta placa la reparación es notoria, siendo un recubrimiento de material faltante mediante revoque y posterior cobertura con capa de pintura. Dimensiones placas, 108x75 cm (a y c), 113x108 (d)



Figura. 32. Imágenes de fachada exterior Hotel Radisson. a) Graffiti, erosión diferencial; b) Manchas de humedad, decoloración asociada a la remoción de graffiti, perforación. Dimensiones placas 108x75 cm.

El Edificio ANCAP fue construido durante la década de 1940 e inaugurado en el año 1948. No se obtuvo para este trabajo registros de modificaciones o reparaciones posteriores, aunque se reconoce en la base del mismo, labores puntuales de restauración, recubrimiento de la superficie de las placas de arenisca con algún tipo de barniz.

En esta edificación se reconocen todas las familias de deterioro según ISCS-ICOMOS (2011), detalladas a continuación y resumido en la Tabla 9.

Grietas y deformación

Tipos:

- Grietas: Integra al subtipo fracturas. Son frecuentes en numerosas placas, y destacan por la heterogeneidad de dimensiones, espesor y direcciones (verticales y horizontales).

Desprendimientos

Tipos:

- Ampollas: Se dan con relativa frecuencia, concentradas en determinados sectores de la estructura. Se distinguen diferentes fases de evolución de las mismas, desde incipientes hasta eclosión.
- Deslaminación: Deterioro poco extendido aunque se reconoce en sectores inferiores de la construcción.
- Fragmentación: Deterioro que se repite con poca asiduidad, cuando se produce sus dimensiones son variables. Se reconoce el subtipo desconchadura.
- Disyunción de películas: No es muy usual. Surge a partir del descascaramiento del recubrimiento de pintura en las placas inferiores.
- Descamación: Desarrollado en varias placas, exponiendo la estratificación de la roca.

Rasgos inducidos por pérdida de material

Tipos:

- Alveolización: Son de relativa frecuencia, se reconoce el subtipo craterización. En algunos casos se desarrollan a partir de los bordes de placas. Posiblemente este deterioro sea producto de la disolución de concreciones de carbonato de calcio en la roca.
- Erosión: Es un deterioro bastante común en la edificación. Se distinguen los subtipos erosión diferencial, redondeamiento e incremento de rugosidad. El primero, es el más conspicuo de los deterioros, dándose con gran asiduidad. Los redondeamientos e incremento de rugosidad se desarrollan con baja frecuencia y están relacionados con la erosión heterogénea de las placas.
- Daños mecánicos: Asociado al subtipo abrasión. Está relacionado con la limpieza de graffitis, no es un deterioro con gran desarrollo.
- Faltante: Deterioro de relativa frecuencia. Generalmente se encuentra asociado a bordes de placa y sus dimensiones pueden ser notablemente diferentes.

- Perforación: Fenómeno que se da en forma parcial en algunas placas, concentrados o aislados. El origen del mismo puede ser biológico o mediante alguna herramienta.

Alteración cromática y depósito

Tipos:

- Depósito: Corresponde principalmente a depósitos de desechos orgánicos.
- Alteración cromática: Se reconocen cuatro subtipos, coloración, decoloración, manchas de humedad, y tinción. En el primer caso se da por cambios en el tono en algunas placas, no es algo extendido. La decoloración es producto de la exposición de la roca a los agentes ambientales. Las manchas de humedad se desarrollan fundamentalmente en zonas del edificio donde circula agua (debajo de equipos de aire acondicionado por ejemplo, entre otros). La tinción es un deterioro correspondiente a manchas de óxidos, de escasa significación, concentrado en zonas donde existen placas metálicas o similares.
- Eflorescencia: Deterioro no muy extendido en la edificación. Cuando ocurre, se observa material de tonalidades blanquecinas en la superficie de la placa de rocas.
- Graffiti: En placas inferiores aunque de escasa significación según el total del edificio.
- Enmugrecimiento: Deterioro generalizado en gran parte del edificio. Se observa como oscurecimiento de la roca.

Biocolonización

Tipos:

- Colonización biológica: Fenómeno de poca magnitud, sucede en sectores puntuales del edificio.
- Musgos: Fenómeno de relativa significancia, visible en partes inferiores de la edificación.
- Plantas: Asociado a algunos pocos marcos de ventanas de la edificación.

Tabla 9. Deterioros según ICOMOS reconocidos en Edificio ANCAP

Edificio ANCAP					
Construcción	1948				
Reparación					
Deterioros	Familia	Tipos	Subtipos	Características	
	Grietas y deformación	Grietas	Fracturas		Espesor variable; Sin relleno aparente; Direcciones horizontales y verticales
					No atraviesan la dimensión total de las placas
	Desprendimientos	Ampollas			Se distinguen diferentes fases de evolución de las mismas, desde incipientes hasta eclosión
		Deslaminación			
		Fragmentación	Desconchaduras		Dimensiones y formas variable
		Disyunción de películas			Recubrimiento (posiblemente pintura) descascarándose
	Rasgos inducidos por pérdida de material	Alveolización			Posiblemente a partir de la disolución de concreciones de CaCO ₃ en la roca
			Craterización		A partir de bordes de placas, de dimensiones variadas
		Erosión	Erosión diferencial (pérdida de matriz y componentes)		Erosión heterogenea en placas
			Redondeamiento		Aristas de placas
			Incremento de rugosidad		Vinculado a procesos de erosión diferencial
		Daños mecánicos	Abrasión		Posiblemente producidas por intento de limpieza
		Faltante			En bordes de placa, tamaños y dimensiones variadas
		Perforación			De diferentes tamaños, en algunos casos rellenas y aisladas y concentradas en diferentes placas
	Alteración cromática y depósito	Depósito			Manchas de pintura
		Alteración cromática	Coloración		
			Decoloración		Blanqueamiento de las superficies expuestas a la intemperie
			Mancha de humedad		
			Tinción		Color negro, asociado a placa metálica
		Eflorescencia			Tonalidades blanquecinas
		Graffiti			Rayaduras y pintadas de tinta
	Enmugrecimiento			Generalizado en todo el edificio	
Biocolonización	Colonización biológica				
	Musgos				
	Plantas			De minúsculas dimensiones, en marco de ventana	
Observaciones	Placas pertenecientes a filas inferiores del edificio recubiertas con capa de "pintura". Las grandes dimensiones de este edificio genera una lógica mayor exposición del material de revestimiento a condiciones ambientales poco favorables para su conservación, hecho reflejado en la zona norte donde las placas evidencian mayor deterioro				



Figura. 33. Imágenes de deterioros en fachada exterior Edificio ANCAP; a) Ejemplos de graffitis y perforación en placas de la roca en fachada este; b) Erosión diferencial, plantas, perforación, entre otros deterioros en porción de fachada este; c) Enmugrecimiento, en fachada oeste del edificio; d) Faltante, perforación, y demás deterioros en porción norte; e) Tinción de la roca por oxidación de elementos metálicos (números); f) Colonización biológica en fracción delantera de la edificación por debajo de película de barniz. Dimensiones placas 133x68 cm (a y b).



Figura. 34. Fachada norte Edificio ANCAP. a) Porción de fachada donde se distinguen variados tipos de deterioros, grietas, perforaciones, faltantes, erosión diferencial, entre otros; b) Hilera de placas con mayor concentración de deterioro, en extremo noreste de la edificación a una altura aproximada de 20 – 30 metros, quedando expuesta presumiblemente la estratificación original de la roca; c) Sector con gran densidad de ampollas y cristalización de sales. Dimensiones placas 133x68 cm

La Catedral de Montevideo o Iglesia Matriz es una edificación construida entre los años 1790 y 1804. A mediados del siglo XX, entre los años 1941 y 1963, fue objeto de una gran remodelación, en donde, entre otros trabajos, se restauró la fachada de la misma (Catedral de Montevideo, 2020).

Como sucede en los anteriores edificios, aquí se reconocen todas las familias de deterioros formuladas por ICOMOS-ICS (2011) (Tabla 10). Las mismas se presentan a continuación:

Grietas y deformación

Tipos:

- Grietas: Incluye al subtipo fracturas. De frecuencia relativa, sin modelo específico, direcciones principalmente verticales y espesor variable.

Desprendimientos

Tipos:

- Estallido: Concentrado en una placa, resultado de inserciones metálicas en la roca.
- Disgregación: De escasa significación, corresponde al subtipo disgregación granular (arenización). El material resultante de este deterioro se agolpa inmediatamente por debajo al mismo.
- Fragmentación: Deterioro poco extendido, se reconoce el subtipo desconchadura. Tamaño y apariencia variables.
- Disyunción de películas: Deterioro abundante en el sector estudiado, aspecto de capas de pintura u otro recubrimiento descascarándose.
- Descamación: Concentrado fundamentalmente en una de las columna de la edificación. Separación en capas de la roca, asociados a otros deterioros, como precipitación de sales (eflorescencia) y colonización biológica.

Rasgos inducidos por pérdida de material

Tipos:

- Erosión: Deterioro de relativa frecuencia. Se distinguen los subtipos erosión diferencial, redondeamiento e incremento de rugosidad. El primero, de mayor relevancia se da en varias placas. El redondeamiento ocurre en algunos bordes de placa, mientras que el incremento de rugosidad se encuentra asociado a fenómenos de disgregación granular.
- Faltante: Escasa importancia, fundamentalmente se desarrolla en aristas de placas con dimensiones heterogéneas.
- Perforación: Corresponde a perforaciones realizadas mediante alguna herramienta mecánica.

Alteración cromática y depósito

Tipos:

- Depósito: Consiste principalmente en excremento de aves y escasos restos de la propia roca asociados posiblemente a arenización.
- Alteración cromática: Integra el subtipo manchas de humedad. Estas no se desarrollan directamente sobre la roca sino en la capa de pintura.
- Eflorescencia: Fenómeno de escasa importancia, asociado a descamaciones. Consiste en precipitación de sales de tonalidades blanquecinas.
- Graffiti: Consiste en ralladuras y figuras pintadas sobre la roca.
- Película: Capa de pintura que recubre la totalidad de las placas de roca.
- Enmugrecimiento: Identificable en determinados sectores. Corresponde al oscurecimiento de la roca.

Biocolonización

Tipos:

- Musgos: Desarrollo fundamentalmente en base y tope de columnas, asociado con líquenes.
- Líquenes: En base y tope de columnas, vinculados con musgos.

Tabla 10. Deterioros según ICOMOS reconocidos en Iglesia Matriz

Catedral de Montevideo – Iglesia Matriz				
Construcción	1790 – 1804			
Reparación	1941*			
Deterioros	Familia	Tipos	Subtipos	Características
	Grietas y deformación	Grietas	Fracturas	Espesor variable; Sin relleno; Direcciones horizontales y verticales (más prominentes)
				Sin relleno; Direcciones verticales y horizontales
	Desprendimientos	Estallido		Consecuencia de inserción metálica
		Disgregación	Disgregación granular (arenización)	
		Fragmentación	Desconchaduras	Dimensiones y formas variable
		Disyunción de películas		Aspecto de capa de pintura (u otro tipo de recubrimiento) descascarándose
		Descamación		Se asocia a biocolonización y precipitación de sales (eflorescencias)
	Rasgos inducidos por pérdida de material	Erosión	Erosión diferencial	Placas se erosionan de forma heterogénea
			Redondeamiento	En aristas de placas
			Incremento de rugosidad	
		Faltante		En bordes de placas; Diferentes formas y tamaños
	Perforación		Rellenas en algunos casos; Aisladas y concentradas	
	Alteración cromática y depósito	Depósito		Material de la propia roca y desechos orgánicos
		Alteración cromática	Manchas de humedad	No se observan sobre la roca, ya que la misma se encuentra cubierta por pintura
		Eflorescencia		De tonalidades blanquecinas; Asociada a fenómenos de descamación
		Grafiti		Ralladuras con objeto punzante y números pintados
		Película		Capa de pintura que recubre la superficie de la roca
		Enmugrecimiento		
	Biocolonización	Colonización biológica		
		Musgos		
		Líquenes		
	Observaciones	Tratamiento superficial con pintura en la totalidad de las placas. En base de columnas fue aplicado un recubrimiento fino (revoque) por encima de la roca.		

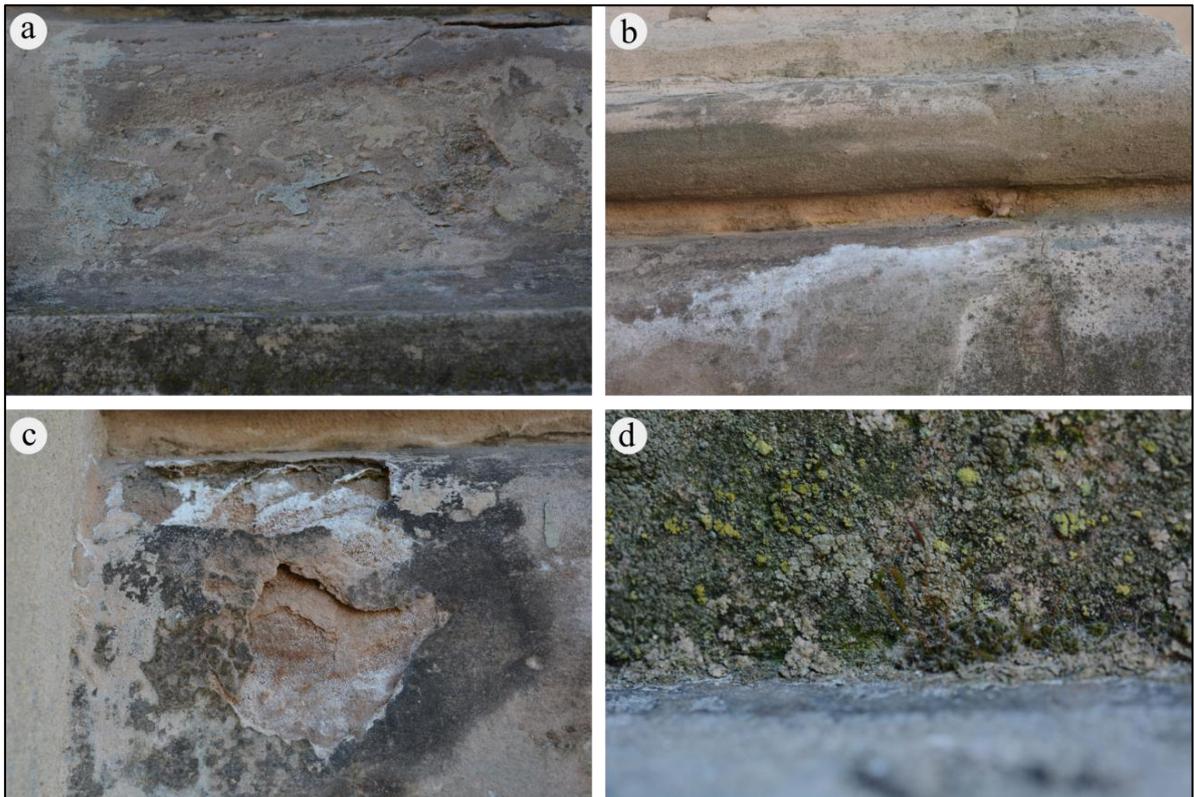


Figura. 35. Algunos tipos de deterioros identificados en la fachada exterior de la Iglesia Matriz. a) Erosión, grietas, disyunción de películas, colonización biológica; b) Disgregación granular (centro), eflorescencia y biocolonización; c) Descamación de la roca, asociada a cristalización de sales (eflorescencia); d) Biocolonización de musgos y líquenes.



Figura. 36. Vistas parcial de fachada exterior de Iglesia Matriz a) Grieta vertical en sector superior de columna exterior, recubrimiento superficial de pintura en su totalidad y colonización biológica en base; b) Deterioros (redondeamientos, eflorescencias, manchas de humedad, entre otros) en sectores superiores de columnas; c) Perforación e inserciones metálicas en placa de roca; d) Alteración cromática, perforación, erosión y faltante en una de las placas. Dimensiones placas 50x67 cm (a) y 82x67 cm (d)

Discusión

La Arenisca Tacuarembó es una roca ya empleada como elemento ornamental, mientras que el Conglomerado Las Ventanas no. Por lo tanto, aquí se analizará el desempeño en construcción de la arenisca a partir de sus propiedades físicas y mecánicas sumado a la observación del estado de deterioro en algunos edificios donde fue empleada como material de revestimiento. En tanto, para el conglomerado se estudiarán sus propiedades físicas y mecánicas, confrontando estas propiedades con las de otras diversas rocas con el fin de consignar posibles usos del mismo como pieza ornamental.

Petrografía

Existen diferencias sustanciales entre el Conglomerado Las Ventanas y la Arenisca Tacuarembó desde el punto de vista petrográfico, distinguiéndose dos rocas de condiciones diferentes. La Arenisca Tacuarembó es una roca principalmente cuarzosa, con escasos granos de otra composición, feldespatos y fragmentos líticos (clastos graníticos y sedimentarios). Texturalmente se trata de una roca bien seleccionada, granos de tamaños finos a medios, sub-redondeados a sub-angulosos. El cemento es principalmente de óxido de hierro aunque es escaso. El grado de consolidación es bajo, siendo bastante friable. Por otro lado, el Conglomerado Las Ventanas es una roca de composición variada, con clastos de granitos, traquitas, de origen metamórfico, cuarzo policristalino y monocristalino, feldespatos, entre otros. La textura implica mala selección de los granos, con tamaños medidos de hasta 74 milímetros y principalmente sub-angulosos a sub-redondeados. El grado de consolidación de esta roca es muy alto, siendo muy poco friable.

Propiedades físicas

Densidad y porosidad

El valor de densidad aparente para la Arenisca Tacuarembó corresponde a $2,033 \text{ g/cm}^3$, mientras que su porosidad es de 22,81% y radio medio de poros $12,094 \mu\text{m}$. En tanto, la densidad aparente del Conglomerado Las Ventanas es $2,654 \text{ g/cm}^3$, su porosidad de 0,71% y dimensiones de radio de poros media $0,070 \mu\text{m}$. Estos valores implican una diferencia de más de 20% en la densidad, mientras que en porosidad y tamaño promedio de poros estas diferencias son aún mayores. Esto constituye un reflejo de la marcada disparidad existente entre estas dos rocas, siendo coherentes con las texturas y estructuras de las mismas. Esto puede ser considerado como un preámbulo del posible comportamiento de estas rocas como elemento ornamental.

La densidad aparente de la Arenisca Tacuarembó se encuentra dentro de la porción inferior del rango esperado para las areniscas divulgado en Siegesmund & Dürrast (2011), a partir de Mosch & Siegesmund (2007) y Mosch (2009).

El valor de densidad correspondiente al Conglomerado Las Ventanas ($2,65 \text{ g/cm}^3$) se equipara al rango para rocas plutónicas, $2,55 - 3,26 \text{ g/cm}^3$, expresado en Siegesmund & Dürrast (2011). Como se visualiza en la Tabla 11, comparando las rocas objeto de estudio en este trabajo con otras rocas ornamentales uruguayas de distintos orígenes, se observa una similitud en los valores de densidad aparente, porosidad y dimensiones de poros del Conglomerado Las Ventanas con estas, y por otro lado, una notoria diferencia con la Arenisca Tacuarembó.

Tabla 11. Valores físicos de rocas ornamentales uruguayas. (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011)

Rocas	Densidad aparente(g/cm ³)	Porosidad (%)	Radio medio poros (μm)
Arenisca Tacuarembó	2,03	22,81	12,094
Conglomerado Las Ventanas	2,65	0,71	0,070
Sienita Rojo Salmón	2,61	0,60	0,042
Sienita Artigas	2,66	0,72	0,077
Dolerita Negro Absoluto	2,99	0,05	0,097
Pizarra Camino Rufo	2,8	0,16	0,056
Basalto Arapey	2,94	0,98	0,032
Granito Gris Maldonado	2,54	0,48	0,051
Granito Moskart	2,66	0,58	0,070
Sienita Violeta Imperial	2,62	1,34	0,057

Además, comparando la Arenisca Tacuarembó con otras rocas similares, queda reflejado que la densidad de esta roca uruguaya es inferior a otras empleadas como material ornamental, mientras que la porosidad es superior a estas (Tabla 12).

Tabla 12. Comparativa de valores físicos entre la Arenisca Tacuarembó y otras areniscas (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011)

Roca	Origen	Densidad matriz (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Radio poros medio (μm)
Arenisca Tacuarembó	Uruguay	2,63	2,03	22,81	12,094
Bad Bentheim	Alemania	2,65	2,04	23,33	9,15
Schleerither	Alemania	2,72	2,29	14,15	0,105
Weser	Alemania	2,65	2,47	6,29	0,06
Sikhiu Brown	Tailandia	2,66	2,38	10,52	0,144
Pachong Gree	Tailandia	2,73	2,53	7,23	0,053

La elevada porosidad y tamaño de los poros favorecen el ingreso hacia el interior del agua y diversas partículas que estén en la atmosfera, además de diferentes sustancias de origen antropogénico (pinturas, barnices, etc.) aplicadas en trabajos de mantenimientos o grafitis. Esto produce cambios en las condiciones originales de la roca, favoreciendo el deterioro de las mismas.

Propiedades mecánicas

Las notables diferencias mineralógicas, texturales y físicas entre la Arenisca Tacuarembó y el Conglomerado Las Ventanas se reflejan en sus comportamientos mecánicos. Los valores de resistencias mecánicas son sensiblemente superiores para el conglomerado en relación con la arenisca. En el caso de la resistencia a la compresión uniaxial (UCS), la resistencia del Conglomerado Las Ventanas (165,7 MPa) es en promedio unas cinco veces mayor que para la Arenisca Tacuarembó (32,3 MPa). En función de la clasificación de Siegesmund & Dürrast (2011), el Conglomerado Las Ventanas corresponde a una roca dura, mientras que la Arenisca Tacuarembó se incluye dentro de la categoría rocas débiles.

Comparando la UCS de ambas rocas con otras rocas ornamentales nacionales (Tabla 13), queda en evidencia la baja resistencia de la Arenisca Tacuarembó. Siendo la misma en el entorno de cinco veces inferior a los valores manejados para granitos y sienitas. Entretanto, para el Conglomerado Las Ventanas, su valor de resistencia a la compresión es equiparable al de rocas tales como granitos o sienitas.

Tabla 13. Comparación de valores de resistencia a la compresión uniaxial (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011)

Roca	Resistencia Compresión uniaxial (MPa)
Arenisca Tacuarembó	32
Conglomerado Las Ventanas	166
Sienita Rojo Salmón	176
Sienita Artigas	138
Dolerita Negro Absoluto	379
Pizarra Camino Rufo	153
Basalto Arapey	228
Granito Gris Maldonado	189
Granito Moskart	170
Sienita Violeta Imperial	168

Los valores de resistencia a la tracción corresponden para el conglomerado a 12,6 MPa y la Arenisca Tacuarembó 2,41 MPa, lo cual implica una relación en el entorno de cinco veces más resistencia del conglomerado respecto a la arenisca. Vinculando estas rocas

con otras (Tabla 14), se observa que al igual a lo sucedido con los valores de UCS, la resistencia a la tracción de la Arenisca Tacuarembó es notablemente inferior al resto de rocas tratadas (aproximadamente de tres a nueve veces menor). Para el caso del Conglomerado Las Ventanas, este comportamiento es opuesto al de la roca anterior (12,6 MPa), siendo su resistencia mayor al de rocas tales como granitos (8,3 MPa, Granito Gris Maldonado), sienitas (5,77 MPa, Sienita Artigas Pearl) o basaltos (11,1 MPa, Basalto Arapey).

Tabla 14. Comparación de valores de resistencia a la tracción. (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011)

Roca	Resistencia a la tracción (MPa)
Arenisca Tacuarembó	2,4
Conglomerado Las Ventanas	12,6
Sienita Rojo Salmón	8,9
Sienita Artigas	5,8
Dolerita Negro Absoluto	17,9
Pizarra Camino Rufo	13,5
Basalto Arapey	11,1
Granito Gris Maldonado	8,3
Granito Moskart	7,7
Sienita Violeta Imperial	7,5

El valor promedio de resistencia a la flexión para la Arenisca Tacuarembó es 4,07 MPa. Esto implica un bajo valor de resistencia. En la Tabla 15 se muestra la relación de esta propiedad de la roca antes mencionada con otras de origen nacional. Como se ve en esta, la resistencia a la flexión de la Arenisca Tacuarembó, es inferior al resto de las rocas.

Tabla 15. Comparación de valores de resistencia a la flexión (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011)

Roca	Resistencia a la flexión (Mpa)
Arenisca Tacuarembó	4,08
Sienita Rojo Salmón	15,6
Sienita Artigas	7,3
Dolerita Negro Absoluto	50,2
Pizarra Camino Rufo	44,8
Granito Gris Maldonado	20,4
Granito Moskart	8,3
Sienita Violeta Imperial	9,7

Los valores de resistencia al anclaje siguen la tendencia, por lo tanto, esta resistencia del Conglomerado Las Ventanas (3,27 KN) es aproximadamente cuatro veces superior a la de la Arenisca Tacuarembó (0,76 KN).

A partir de la clasificación de resistencia al anclaje la Arenisca Tacuarembó se incluye dentro del grupo de baja resistencia al anclaje, mientras que el Conglomerado Las Ventanas se agrupa dentro de la categoría alta resistencia al anclaje.

El valor de desgaste por abrasión de la Arenisca Tacuarembó es de 56,4 cm³/50cm². Este valor es mayor al rango propuesto en Siegesmund & Dürrast (2011) modificado de Müller (2001), para las areniscas, lo cual implica otra evidencia de la fragilidad de esta roca en comparación a otras. En la tabla 16 se muestra el valor de resistencia de la Arenisca Tacuarembó frente a otras rocas ornamentales uruguayas, y como se aprecia, el mismo es notablemente superior, unas 10 veces más que estas aproximadamente.

Tabla 16. Relación de valores de resistencia a la abrasión de la Arenisca Tacuarembó, con otras rocas ornamentales uruguayas. (Modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011)

Roca	Resistencia a la abrasión (cm ³ /50cm ²)
Arenisca Tacuarembó	56,44
Sienita Rojo Salmón	2,83
Sienita Artigas	3,43
Dolerita Negro Absoluto	2,27
Pizarra Camino Rufo	8,6
Basalto Arapey	3,8
Granito Gris Maldonado	2,2
Granito Moskart	2,8
Sienita Violeta Imperial	2,4

En la Tabla 17 se exponen los valores de resistencias a esfuerzos (UCS, resistencia a la flexión, resistencia a la tensión indirecta y resistencia a la abrasión) para la Arenisca Tacuarembó, así como para otras diferentes areniscas. Estos reflejan la peor aptitud técnica de la roca nacional, siendo su capacidad de resistencia mecánica sensiblemente inferior al resto de las areniscas. Además se observa que estas rocas son en general menos resistentes que las rocas de otros orígenes, e incluso el Conglomerado Las Ventanas.

Tabla 17. Relación de valores de propiedades mecánicas de la Arenisca Tacuarembó y otras areniscas del mundo. Tomado y modificado de Siegesmund & Dürrast, 2011

Roca	Resistencia a la Compresión uniaxial (Mpa)	Resistencia a la flexión (Mpa)	Resistencia a la tensión indirecta (Mpa)	Resistencia a la abrasión (cm ³ /cm ²)
Arenisca Tacuarembó	32,3	4,1	2,4	56,4
Bad Bentheim	50,3	4,2	2,8	16,4
Schleerither	76,8		6,8	
Weser	149,8	21,3	8,4	12,3
Sikhiu Brown	147,5	16,7	8,7	9,9
Pakchong Green	103,2	10,7	5,7	12,9

Estado de deterioro (Arenisca Tacuarembó)

El estado de deterioro de la Arenisca Tacuarembó en los edificios donde ha sido empleada es importante (según la cantidad de deterioros observados), esto puede justificarse en gran parte por su propia condición. Las características físicas (elevada porosidad y tamaño de poros) y mecánicas (baja resistencia a factores estructurales y del entorno) constituyen factores desfavorables para su amplia utilización en construcción. En estos casos analizados, esta arenisca ha sido empleada como revestimiento de paredes exteriores y consecuentemente ha estado expuesta a diversos agentes ambientales y estructurales que han ido afectando en parte su naturaleza (grietas, desprendimientos, pérdida de material, entre otros). A estos agentes ambientales (viento, lluvia, exposición al sol, cambios de temperatura, entre otros), se añaden agentes antrópicos como la polución, intervenciones sobre las placas de roca (colocación de inserciones metálicas, por ej.), los que combinados actúan sobre la roca acelerando el deterioro de la misma.

Todas las familias de deterioro propuestas en ICOMOS se observan en mayor o menor medida en las tres edificaciones relevadas (Tablas 8, 9 y 10). Las grietas y fracturas observadas pueden ser el resultado de sobrecargas mayores a la resistencia de la arenisca o propias de condiciones del intemperismo. Incluidos en la familia de desprendimientos se reconocieron diferentes tipos de deterioros. Las ampollas pueden estar relacionadas a fenómenos de cristalización de sales o desprendimientos en la capa externa de la superficie, este último fenómeno también se vincula a procesos de deslaminación o descamación. El estallido (reconocido en la Iglesia Matriz) puede ser producto de tensiones internas generadas a partir de la introducción en la roca de inserciones metálicas que pueden oxidarse. Estas tensiones internas también pueden llevar a desconchaduras (fragmentación). La disgregación es el resultado de la pérdida de cohesión debido a la meteorización y erosión en partes de la placa. En tanto, la disyunción de películas está vinculado a las capa de pintura descascarándose.

Los deterioros reconocidos dentro de la familia de rasgos inducidos por pérdida de material, incluyen la alveolización, erosión, daños mecánicos, faltantes y perforación. Las dos primeras son consecuencias de la meteorización y erosión de las placas de la arenisca con el paso del tiempo debido a la interacción con el entorno. La abrasión (daños mecánicos), posiblemente sea el resultado del rozamiento o frotamiento generado en la roca durante la limpieza de graffitis y que erosionan la misma. El faltante de piezas puede ser el resultado de factores como la erosión, tensiones internas de la roca o daños producidos por el accionar humano que derivan en la pérdida parcial de fragmentos de roca. Las perforaciones se dan por la acción antrópica (agujeros realizados para colocar carteles, inscripciones, entre otros) y en otros casos por organismos biológicos (insectos).

Los tipos de deterioros incluidos dentro de la categoría alteración cromática y depósito, corresponden a deterioros promovidos por la acción antrópica, (tinción, película y grafiti), organismos (depósitos de excremento de aves) y a una combinación de ambos factores (eflorescencia y enmugrecimiento).

En tanto, fueron diferenciados tres tipos de colonización biológica: líquenes, musgos y plantas.

El Edificio ANCAP es la edificación con mayor densidad de deterioro identificables con mayor claridad (posiblemente el tamaño de la edificación y la evidente falta de mantenimiento en gran parte de la estructura contribuyan a esto). Los deterioros reconocidos se presentan en la Tabla 9. El ala norte del edificio es el sector más afectado (Fig. 34), donde se reconocen variados tipos de deterioros en diversos estadios. Esto puede ser consecuencia de la mayor exposición al sol durante el día (en comparación al resto de la edificación) y al viento cuya dirección predominante en nuestro país es NE (Departamento de Meteorología, 2020), elevando así el grado de influencia de la lluvia, impacto de partículas, etc.

En los tres edificios visitados (Edificio ANCAP, Iglesia Matriz y Radisson Hotel) las reparaciones eran evidentes. En la Iglesia Matriz se observa recubrimiento de pintura en todas las placas y revoque en la base de columnas. Las placas de arenisca colocadas en el Radisson Hotel exhiben un grado de deterioro mayor (o por lo menos se deduce esto), ya que la densidad de las reparaciones es notoriamente superior en este caso que en el anterior, consistiendo en recubrimientos de pintura y restauración de piezas faltantes mediante el agregado de revoque. En tanto, el Edificio ANCAP tiene vestigios de reparación en los sectores inferiores del mismo (posiblemente película de barniz), pero que a diferencia de los edificios anteriores no oculta el deterioro de la roca.

Las condiciones ambientales a las que se expone la arenisca como revestimiento de paredes exteriores, son notoriamente desfavorables para el óptimo rendimiento de la misma. La disponibilidad de agua en el ambiente, producto de precipitaciones y

humedad atmosférica generan que la roca almacene agua en su interior, con los adversos efectos que esto conlleva (favorecedor de intemperismo, precipitación de sales, entre otros). El viento, otro factor ambiental que influye en el deterioro, arrastra partículas del entorno golpeando las superficies de las placas de roca arenisca, contribuyendo junto con el agua, a la erosión y deterioro de la misma.

Potencial ornamental del Conglomerado Las Ventanas

Aquí se estudia el potencial de esta roca a partir de su petrografía y propiedades físicas y mecánicas, sin considerar los aspectos económicos de una eventual explotación que podrían ser parte de otro estudio posterior.

Los datos físicos y mecánicos se exponen en la Tabla 6. Como ha sido explicado en secciones anteriores, los valores de sus propiedades técnicas son similares a rocas graníticas y por lo tanto esto, sumado a que la roca adquiere buen brillo al ser pulida (Morales Demarco, com. pers., figuras 18 y 24) puede ser tomado como una referencia sobre los posibles usos del conglomerado. Considerando todas estas características del Conglomerado Las Ventanas, se considera que esta roca presenta condiciones favorables para su empleo en construcción. Estos pueden variar desde piezas decorativas, revestimientos interiores y exteriores, pisos, elementos estructurales, entre otros.

La forma de aflorar como bochas de este conglomerado puede ser indicativa de su comportamiento cuando aplicado. Estas “bochas” son el resultado de su alta resistencia a la meteorización y por lo tanto es posible asumir que esta roca se comporte de igual manera si se utiliza como roca ornamental. Además es importante resaltar lo presentado por Blanco & Gaucher (2005) en donde mencionan que el área tipo de esta unidad corresponde a un pliegue sinclinal, encontrándose los afloramientos de bochas de esta roca hacia el eje del mismo.

Otro aspecto que se considera relevante a la hora de evaluar una eventual extracción es la utilización con fines ornamentales de la arenisca que compone la Fm. Las Ventanas y que aparece intercalada con el conglomerado. Para esto debería realizarse una caracterización petrográfica y técnica de la arenisca a fin de evaluar su potencial ornamental.

Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo se resumen a continuación:

- 1) Las rocas objeto de estudio de este trabajo exhiben características petrográficas diametralmente diferentes.
 - a) La Arenisca Tacuarembó es una arenisca de composición fundamentalmente cuarzosa. Texturalmente es de grano fino a medio, bien seleccionada, y granos sub-redondeados a sub-angulosos. El cemento es escaso y principalmente de óxido de hierro, aunque se observa sobrecrecimiento de sílice de forma subordinada.
 - b) El Conglomerado Las Ventanas consiste en un ortoconglomerado de composición polimíctica (clastos metamórficos, graníticos, traquitas, sedimentarios y granos individuales), exhibiendo cierta gradación composicional entre el esqueleto y matriz (de similar composición). El grado de selección de los clastos es bajo, siendo el esqueleto conformado por granos de tamaños variados (máximo medido, 74 mm), subangulosos a subredondeados. La matriz es de tamaño arena, con granos de similares características al esqueleto.

- 2) El aspecto macroscópico de las rocas sedimentarias se encuentra determinado por el color y estructura de los elementos que la componen.
 - a) En la Arenisca Tacuarembó podría diferenciarse dos variantes considerando el color. La primera, relativamente constante en su tonalidad, blanquecinas a amarillentas, y una segunda donde pueden desarrollarse cierta gama de colores diferentes, asociado a procesos de alteración a partir de fracturas, entre otros. En estos casos, la estructura de la roca puede ser masiva o con estratificación, pero cuyos cambios de colores son apenas perceptibles. No obstante, las variedades rojizas y blanquecinas alternan capas del orden milimétrico o centimétrico, en donde el mayor contraste de colores las hace más notables.
 - b) El Conglomerado Las Ventanas consiste en una roca heterogénea composicionalmente, por lo tanto con una amplia variedad de colores (negro, rosado, rojo, blanco y verde, además de tonalidades de estos), aunque preserva un tono grisáceo general relativamente estable (como se observa en el Palacio Legislativo), consecuencia de la propia estructura de la roca. La variedad de colores evidentes le otorga a la roca un gran valor estético (para los casos que se pretenda heterogeneidad en la roca).

- 3) Las propiedades físicas de estas rocas son elocuentes exponiendo diferencias sustanciales entre ellas. La densidad aparente de la Arenisca Tacuarembó corresponde a $2,03 \text{ g/cm}^3$, mientras que para el Conglomerado Las Ventanas es de $2,65 \text{ g/cm}^3$. Los valores de porosidad son de 22,81% para la arenisca y 0,71% para el conglomerado. Esto implica diferencias mayores a 20% en la densidad y expone a priori restricciones o condicionantes al uso de la Arenisca Tacuarembó como elemento ornamental. Además, se observa que existe una relación inversamente proporcional entre los valores de densidad aparente y porosidad.
- 4) El comportamiento mecánico del Conglomerado Las Ventanas y la Arenisca Tacuarembó está vinculado con las características petrográficas y propiedades físicas de estas rocas. El Conglomerado Las Ventanas consiste en una roca con alta resistencia a esfuerzos, similar al comportamiento de rocas graníticas. En tanto, la Arenisca Tacuarembó se comporta de forma antagónica al conglomerado, siendo su resistencia a los esfuerzos notablemente inferior (incluso menor al de areniscas de otros países empleadas con fines ornamentales).
- 5) El estado de la Arenisca Tacuarembó en los edificios donde ha sido estudiada (Radisson Montevideo Victoria Plaza Hotel, Edificio ANCAP e Iglesia Matriz) refleja un importante deterioro, lo cual puede justificarse en gran parte por sus propias características. Las propiedades físicas (elevada porosidad y tamaño de poros) y mecánicas (baja resistencia a factores estructurales y del entorno) constituyen factores desfavorables para su utilización en construcción en aplicaciones de alta demanda. En estos casos analizados, esta arenisca ha sido empleada como revestimiento de paredes exteriores, y consecuentemente ha estado expuesta a diversos agentes ambientales y estructurales que han minado su naturaleza (grietas, desprendimientos, pérdida de material, entre otros).
- 6) El Conglomerado Las Ventanas es una roca que desde el punto de vista técnico se asemeja al comportamiento de rocas “duras” (granitos, sienitas, entre otras) y por lo tanto, presenta un elevado potencial para ser empleado como material ornamental.
- 7) La baja resistencia a esfuerzos de la Arenisca Tacuarembó determina su facilidad de explotación y procesamiento posterior. En contrapartida, el uso óptimo de la Arenisca Tacuarembó considerando sus propiedades técnicas es restringido, estando el mismo vinculado a condiciones favorables del entorno (baja exposición a desgastes o abrasión, fluidos, en particular agua, entre otros), como lo es en revestimientos de paredes interiores.

- 8) El uso óptimo del Conglomerado Las Ventanas a partir de las consideraciones técnicas podría ser amplio, en elementos estructurales (columnas, pilastras, etc.), revestimientos (externos e internos), paredones, revestimiento de pisos, elementos decorativos, entre otros.

Bibliografía

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Rochas para revestimentos de edificações — Terminologia*. ABNT NBR 15012:2013. 2013. 23 p.

Allsopp D, Seal K, Gaylarde CC (2003) *Introduction to Biodeterioration*. Cambridge University Press, Cambridge

Amarante, F.B.D.; Reis, A.D.D.; Scherer, C.M.S.; Goso Aguilar, C.A.; Mesa, V.; Soto, M. (2019). *Distal portion of a large Upper Jurassic distributive fluvial system in Uruguayan Paraná Basin*. En: IX Congreso Uruguayo de Geología. Flores. Pp: 239-243.

Architect of the Capitol (2019). *Sandstone*. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://www.aoc.gov/capitol-hill/architecture/sandstone>

Arias, P. (2015) *Las Rocas Ornamentales como material de revestimiento en edificación. Reporte sobre estado actual y tendencia*. Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de Catalunya. Catalunya, España.

ASTM C119-19, *Standard Terminology Relating to Dimension Stone*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, www.astm.org.

Aston, B., Harreland, J., y Shaw, I. (2000). *Stone: Silstone, greywacke and conglomerate*. En P. Nicholson e I. Shaw (ed.). *Ancient Egyptian Materials and Technology* (pp. 57-58). Cambridge, United Kingdom: Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2000.

Benavente, D. (2006). "Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales". En: *Utilización de rocas y minerales industriales / ed. M^a Ángeles García del Cura y Juan Carlos Cañaveras*. Alicante: Universidad de Alicante, 2006. (Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía; 2). pp. 123-153.

Blanco G., Gaucher C. (2005). *Estratigrafía, Paleontología y Edad de la Formación Las Ventanas (Neoproterozoico, Uruguay)*. *Latin American Journal of Sedimentology and Analysis*. Vol. 12 (2) 2005, 109-124. Asociación Argentina de Sedimentología.

Blanco, G., Gaucher, C. (2014). *Formación Las Ventanas*. En: *Geología del Uruguay-Tomo 1: Predevonico* (pp. 299-312). Montevideo, Uruguay.

Boggs, Jr, S. (2009). Conglomerates. In *Petrology of Sedimentary Rocks* (pp. 165-193). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511626487.006.

Bossi J., (1966). — "Geología del Uruguay". Departamento de publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.

Bossi, J.; Ferrando, L. A.; Fernandez, A.; Elizalde, G.; Morales, H.; Ledesma, J.; Carballo, E.; Medina, E.; Ford, I. & Montaña, J. (1975). *Carta Geológica del Uruguay. Escala 1/1.000.000. Editada por los Autores. Montevideo. Uruguay.*

Bossi, J. & Navarro, R. (1988). *Geología del Uruguay. 2 tomos. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.*

Bossi, J., Cingolani, C., Lambias, E., Varela, R. & Campal, N. (1993). Características del magmatismo post-orogénico finibrasiliano en el Uruguay: formaciones Sierra de Ríos y Sierra de Ánimas. *Revista Brasileira de Geociências*, 23(3): 282-288.

Bossi J., Ferrando L., Montaña J., Campal N., Morales H., Gancio F., Schipilov A., Piñeyro D. & Sprechmann P. (1998): *Memoria explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000. Fac. Agronomía, UdelaR, 122 p.*

Bonazza A, Sabbioni C, Messina P, Guaraldi C, De Nuntiis P. (2009b) *Climate change impact: Mapping thermal stress on Carrara marble in Europe. Sci Total Environ* 407(15): 4506–4512.

Börner K, Hill D. (2007) *Große Enzyklopädie der Steine: CD-ROM. Abraxas Verlag, Hasede.*

Brimblecombe, P., (2011). *Environment and Architectural Stone. En S. Siegesmund & R. Sneathlage (ed.), Stone in Architecture (pp. 317-346). Berlín, Alemania: Springer.*

Caorsi, J. & Goñi, J. (1958): *Geología Uruguaya. Boletín del Instituto Geológico del Uruguay. 37:1-73. Montevideo.*

Chiodi Filho, C.; Rodrigues, E. de Paula. (2009) *Guia de aplicação de rochas em revestimentos; Projeto Bula / Cid Chiodi Filho; Eleno de Paula Rodrigues. - São Paulo: ABIROCHAS, 2009.*

Chiodi Filho, C. (2018). *Designação Comercial das Rochas Ornamentais. São Paulo. ABIROCHAS. 2018.*

Currier, L. W. (1960): *Geologic appraisal of dimension-stone deposits; United States Geological Survey, Bulletin 1109, 78 pages.*

De Santa Ana, H., Veroslavsky, G. (2004). *La Tectosecuencia Volcano sedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay. En: Veroslavsky Barbe, G, Ubilla Gutierrez, M y Martinez Chiappara, S (ed.). (2004.). Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales: Mesozoico. UR. FC. DIRAC; SUG.*

Departamento de Meteorología (2020). *Climatología del Uruguay*, Departamento de Meteorología, Facultad de Ciencias (UdelaR). Recuperado de <http://meteorologia.fcien.edu.uy/>

Diario El País. (2018, 18 marzo). [El vínculo entre el producto de la construcción y el PIB]. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://negocios.elpais.com.uy/noticias/vinculo-producto-construccion-pib.html>.

DIN 52108 (1988): *Prüfung anorganischer nichtmetallischer Werkstoffe; Verschleißprüfung mit der Schleifscheibe nach Böhme*. – Beuth Verlag, Berlin.

DIN 22024 (1989): *Rohstoffuntersuchung im Steinkohlebergbau – Bestimmung der Spaltzugfestigkeit von Festgestein*. – Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 12372 (1999): *Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung der Biegefestigkeit unter Mittellinienlast*. – Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 1926 (1999): *Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung der Druckfestigkeit*. – Beuth Verlag, Berlin.

DIN EN 13364 (2001): *Prüfung von Naturstein – Bestimmung der Ausbruchlast am Ankerdornloch*. – Beuth Verlag, Berlin.

Dott, R.H. (1964) *Wacke, Greywacke and Matrix—What Approach to Immature Sandstone Classification? Journal of Sedimentary Petrology*, 34, 625-632.

Du Toit, A. L. (1927). *A Geological comparsion of South Africa with South America*. Carnegie. Inst. Pub. Nº 381. Washington.

Falconer, J. D. (1931). *Terrenos Gondwánicos del Departamento de Tacuarembó: memoria explicativa del Mapa Geológico.Kümmer en 1903*

Falconer, J. D. (1931). *Terrenos Gondwánicos del Departamento de Tacuarembó: memoria explicativa del Mapa Geológico.Kümmer en 1903*

Falconer J., (1937c).— *La Formación de Gondwana en el Nordeste del Uruguay, con referencia especial a los terrenos eo-gondwánicos*. Boletín Instituto Geol. Perf. No. 23.

Ferrando, L. & Andreis, R.R. 1986. *Nueva estratigrafía en el Gondwana de Uruguay*. In: I Congreso Latinoamericano de Hidrocarburos, Arpel, Buenos Aires, Actas V1, 295-322.

Ferrando, L .A.; Eugui, W.; Cabrera, Z. & Elias, R. 1988. *Carta Geológica del Uruguay a escala 1/100.000 Hoja Carmelo P24*. Convenio Facultad de Agronomía. Facultad de Ciencias, Dirección Nacional de Minería y Geología. Montevideo. Uruguay

Folk, R., (1951). *Stages of textural maturity in sedimentary rocks*. *Journal of Sedimentary Petrology.*, 21. pp: 127-130.

Forssmann, A. (2018, 1 noviembre). Así arrastraban los egipcios los bloques de piedra desde las canteras. Recuperado 25 enero, 2020, de https://www.nationalgeographic.com.es/historia/actualidad/asi-arrastraban-egipcios-bloques-piedra-canteras_13413/1+

França AB, Milani EJ, Schneider RL, López-Paulsen O, López JM, Suárez-Soruco R, de Santa Ana H, Weins F, Ferreiro O, Rossello EA, Bianucci EH, Aramayo-Flores RF, Vistalli MC, Fernández-Seveso FA, Fuenzalida RP & Muñoz N (1995): Phanerozoic correlation in Southern South America, pp.129-161 de: Tankard AJ, Suárez-Soruco R & Welsink HJ (eds): Petroleum basins of South America. AAPG Memoir N° 62. Tulsa.

Frasca, M.H.B.O. (2010). Rocha como material de construção. In: Materiais de construção e princípios de ciência e engenharia de Materiais. 2ª ed. São Paulo : IBRACON, 2010, v.1, pp. 437-479.

Frasca, M. H. B. O. (2014).Tipos de rochas ornamentais e características tecnológicas. In: Tecnologia de Rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2014. Cap.2, pp.44-98.

Gaucher, C., Blanco, G., Chiglino, L. Poiré, D.G., Germs, G.J.B. (2008) Acritarchs of Las Ventanas Formation (Ediacaran, Uruguay): implications for the timing of coeval rifting and glacial events in western Gondwana. *Gondwana Research*, 13, 488-501.

Gómez, J. E., & Calle, M. (s.f.). Palacio de Carlos V. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://waste.ideal.es/palaciodecarlosv.htm>

Gillhuber, S., Lehrberger, G., Thuro, K. (2006) Teplá trachyte weathering phenomena and physical properties of a rare volcanogenic building stone. In: IAEG 2006, The Geological Society of London. Paper number 469.

Gregg, S. J., Sing, K.S.w. (1982). Adsorption, surface area, and porosity, 2nd ed. Academic Press, London, 303 p.

Hallsworth, C.R., Knox, R.W.O'B. (1999), Classification of sediments and sedimentary rocks: Volume 3 of the BGS rock classification scheme: British Geological Survey Research Report Number RR 99-03.

Hoffmann, A., (2006) Naturwerksteine Thailand: Lagerstättenerkundung und Bewertung. Dissertation, University of Göttingen.

Huguet, G. (2016, 4 noviembre). El acueducto de Segovia es más reciente de lo que pensábamos. Recuperado 25 enero, 2020, de https://www.nationalgeographic.com.es/historia/actualidad/acueducto-segovia-mas-reciente-que-pensabamos_10826/1

ICOMOS (2011) *Glosario ilustrado de formas de deterioro de la piedra. Versión Inglés-Español. International Scientific Committee for Stone.*

Indiamart. (s.f.). *Conglomerate. Recuperado 25 enero, 2020, de <http://imgghost1.indiamart.com/data2/HB/XR/MY-764762/sandstone-properties-and-applications.pdf>.*

Intendencia de Montevideo. (2019, 8 julio). *Historia de Montevideo. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://montevideo.gub.uy/areas-tematicas/turismo/historia-de-montevideo>*

King, H. (s.f.). *Conglomerate. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://geology.com/rocks/conglomerate.shtml>*

Klopfer, H., (1985) *Feuchte. In: Lutz P, Jenisch R, Klopfer H, et al. (eds) Lehrbuch der Bauphysik Teubner Verlag, Stuttgart.*

Lehrberger, G., Gillhuber, S. (2004). *Types of dimension Stone in the Teplá monastery in Western Bohemia. In R. Prikryl (ed.). Dimension Stone 2004: New Perspective for a Traditional Building Material (pp. 73-78). Prague, Czech Republic: A.A. Balkema Publishers.*

Lipfert, F.W., (1989) *Atmospheric damage to calcareous stones: comparison and reconciliation of recent experimental findings. Atmos Environ 23: pp. 415–429.*

López de Calle, C., Iriarte, M.J., Zapata, L., (2001). *Análisis paleoambientales en el dolmen del Collado del Mallo (Trevijano, La Rioja). Viabilidad y trabas de la paleoecología vegetal en estructuras dolménicas. Zubía Monográfico, 13: pp. 65-96.*

López Mesones, F., Nieves Aguirre, G., Escribano Villán, J., (2001). *Manual para el Uso de la Piedra en la Arquitectura. Bilbao, España: Editora Informstone Technic & Business.*

Lott, G. (2013). *The Sands of Time - Britain's Building Sandstones. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://www.buildingconservation.com/articles/building-sandstones/building-sandstones.htm>*

Macmillan J. (1933) *Terrenos Precámbricos del Uruguay. Boletín del Instituto Geológico del Uruguay 18: (pp. 1-60). Montevideo.*

McMillan, A.A., Gillanders, R.J. and Fairhurst, J.A. (1999) *Building stones of Edinburgh. Edinburgh: Edinburgh Geological Society.*

Marstrander, R. (1915). *Informe preliminar sobre las riquezas minerales de la república oriental del Uruguay (Preliminary report on the mineral resources of Uruguay). Instituto de Geología y Perforaciones (Uruguay). Montevideo, Talleres gráficos del estado, 1915.*

Masquelin, H., Sanchez Bettucci, L. (1993). *Propuesta de Evolución tectono-sedimentaria para la fosa tardi-brasiliana en la región de Piriápolis, Uruguay*. *Revista Brasileira de Geociencias*, 23: pp. 313-322.

Maxwell, I. (2007). *Cleaning Sandstone: Risk and Consequences*. Inform: Information for Historic Building Owners. Edinburgh: Historic Scotland, Technical Conservation, Research and Education Group.

Mones A. & M. Ubilla (1978).— "La edad Deseadense (Oligoceno Inferior) de la Formación Fray Bentos y su contenido Paleontológico, con especial referencia a la presencia de *Proboryhyaena cr. gigantes* Ameghino (Marsupialia: Borhyaenidas) en el Uruguay". Nota preliminar. *Comunicaciones Paleontológicas del Museo de Historia Natural de Montevideo*. No. 7, Vol. I

Montani, C. (2017). *XXVII Rapporto marmo e pietre nel mondo 2017*. Verona, Italia. Aldus.

Montevideo Portal. (2017, 25 marzo). *Conocé la historia detrás de los hoteles fantasma de Montevideo*. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://www.montevideo.com.uy/Tiempo-libre/Conoce-la-historia-detras-de-los-hoteles-fantasma-de-Montevideo-uc338425>

Morales Demarco, M., Oyhantçabal, P., Stein, KJ., Siegesmund S. (2010) *Black dimensional stones: geology, technical properties and deposit characterization of the dolerites from Uruguay*. *Environmental Geology*, v.: 63 7-8, p.:1879 - 1909, 2010.

Morales Demarco, M., Oyhantçabal, P., Stein KJ, Siegesmund S. (2012) *Dolomitic slates from Uruguay: petrophysical and petromechanical characterization and deposit evaluation*. *Environmental Geology*, 2012 .doi: 10.1007/s12665-012-1921-7

Morales Demarco, M., Oyhantçabal, P., Siegesmund S. (2012b). *Granitic dimensional stones in Uruguay: evaluation and assessment of potential resources*. *Environmental Earth Sciences*, v.: 69 4, pp.:1397 - 1438, 2013. doi: 10.1007/s12665-012-2027-y

Midot, D., (1984). *Etude Geologique et diagnostic Metallogenique l'exploration du Secteur de Minas (Uruguay)*. Tesis Doctoral, Universite Pierre et Marie Curie, París, 175 pp. (inérito).

Müller, FM. (1996) *Gesteinskunde*. Ebner-Verlag, Ulm.

Müller, F. (2001) *Gesteinskunde*. Ebner-Verlag, Ulm.

Naidoo, D., (2006). *Review Of The Dimension Stone Industry 2006*. Department of Mineral Resources. Republic of South Africa.

Natural Stone Institute. (2016). *The Geology of Stone. En Dimension Stone Design Manual, Version VIII (1-8)*. Ohio, EEUU: Marble Institute of America.

Ortega Burgos, K., Sarmiento, G., Villegas, A. M., (2016). *La Construcción Alrededor del Mundo ¿Qué ha pasado y qué podemos esperar? Estudios Económicos. Cámara Colombiana de la Construcción – CAMACOL. Bogotá, Colombia.*

Oyhantçabal, P., Siegesmund, S., Wemmer, K., Presnyakov, S, Layer, P. (2009). *Geochronological constraints on the evolution of Southern Dom Feliciano Belt (Uruguay) Journal of the Geological Society, London, Vol.166, pp. 1075-1084.*

Pecoits, E. (2002). *Análisis faciológico y aspectos geológicos de la Formación Las Ventanas; un nuevo enfoque. In: Pecoits, E. & Masquelin, H. (ed.), II Taller Sobre la Estratigrafía del Precámbrico del Uruguay. Facultad de Ciencias, Montevideo; Resúmenes Ampliados pp. 34-36.*

Pecoits, E. (2003a). *Sedimentología y consideraciones estratigráficas de la Formación Las Ventanas en su área tipo, departamento de Maldonado, Uruguay. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología. Publicación Especial. En: Pecoits, E. (Ed.): Estratigrafía del Precámbrico del Uruguay. Edición digital: pp. 124-140.*

Pecoits, E. (2003b). *Age and preliminary correlation of the Las Ventanas Formation and Bom Jardim-Cerro do Bugio allogroups (Vendian, Uruguay and Brazil). En: Frimmel, H. (Ed.): III International Colloquium Vendian-Cambrian of W-Gondwana. Cape Town, South Africa; Extended Abstracts: pp. 32-34.*

Pecoits, E. et al. (2004). *Estratigrafía De Sucesiones Sedimentarias y Volcanosedimentarias Neoproterozoicas del Uruguay.*

Pecoits, E. , Gingras, M.K. , Aubet, N.R , Konhauser, K (2008). *Ediacaran in Uruguay: Palaeoclimatic and palaeobiologic implications. Sedimentology, v.: 55 p.:689 - 719, EUA*

Perea, D., Soto, M., Veroslavsky, G., Martínez, S. y Ubilla, M. 2009. *A Late Jurassic assemblage in Gondwana: biostratigraphy and correlations of Tacuarembó Formation, Paraná Basin, Uruguay. Journal of South American Earth Sciences 28(2):168-179.*

Pettijohn, F. J., 1975, *Sedimentary Rocks, 3rd edn.: Harper and Row, New York, NY.*

Pfenniger, F. (s.f.). *Empire State Building, una aproximación. Recuperado 25 enero, 2020, de <http://www.arquitecturaenacero.org/historia/edificios/empire-state-building-una-aproximacion>*

Poiré, D.G., González, P.D., Canalicchio, J.M., García Repetto, F. (2003). *Litoestratigrafía y estromatolitos de la sucesión sedimentaria Precámbrica de la cantera Mina Verdún, Minas, Uruguay. Revista Sociedad Uruguaya de Geología. 3, Publ. Especial 1:108-123.*

Preciozzi, F., Spoturno, J., Heinzen, W., Rossi, P. (1985). *Carta Geológica del Uruguay a escala 1:500.000. [Mapa]. DINAMIGE, Montevideo.*

Preciozzi F.; Spoturno J.; Heinzen W., Rossi P. (1985). *Memoria Explicativa de la Carta Geológica del Uruguay a escala 1/500 000. DINAMIGE. Montevideo Uruguay.*

Preciozzi, F., Masquelin, H., Sanchez Bettucci, L. (1993). *Geología de la porción sur del Cinturón Cuchilla Dionisio*. In: Preciozzi, F., Masquelin, H. & Sánchez, L. (ed.), *Guía de Excursión, I Simposio Internacional del Neoproterozoico-Cámbrico de la Cuenca del Plata*. Montevideo, pp. 1-39.

Regatta Universal Exports.. (2017, 30 junio). *Advantages of Sandstone*. Recuperado 25 enero, 2020, de [https://www.regattaexports.com/advantages-of-sandstone/+](https://www.regattaexports.com/advantages-of-sandstone/)

RGIT Robert Gordon Institute of Technology (1991) *Stone cleaning in Scotland. Research Summary, Research Report 1, 2, 3. Historic Scotland, Edinburgh*Rose, W. I., Vye, E. C., Stein, C. A., Malone, D. H., Craddock, J. P., & Stein, S. A. (2017). *Jacobsville sandstone: A candidate for nomination for "Global Heritage Stone Resource" from Michigan, USA. Episodes, 40(3), 213-219. https://doi.org/10.18814/epiugs/2017/v40i3/017024*

Sánchez Bettucci, L., Pazos, P., (1996). *Análisis paleoambiental y marco tectónico en la Cuenca Playa Verde, Piriápolis, Uruguay. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas I: 405-412, Buenos Aires.*

Sánchez Bettucci, L. (1998). *Evolución tectónica del Cinturón Dom Feliciano en la región Minas-Piriápolis, Uruguay. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Tesis de doctorado, 344 p.*

Sánchez de la Cruz, D. (2014, 23 mayo). *La población creció de 85.000 personas a 10 millones al año con la Revolución Industrial*. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://www.libremercado.com/2014-05-25/la-poblacion-crecio-de-85000-personas-a-10-millones-al-ano-con-la-revolucion-industrial-1276519459/>

Sarkis, P. (2017, 23 octubre). *Australia's Most Famous Sandstone Structures*. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://gosfordquarries.com.au/news-media/2017/10/23/australias-most-famous-sandstone-structures>

Siegesmund, S., Dürrast, H., (2011). *Physical and Mechanical Properties of Rocks*. En S. Siegesmund & R. Snethlage (ed.), *Stone in Architecture* (pp. 97-225). Berlín, Alemania: Springer.

Snethlage, R. (2011). *Natural Stones in Architecture: Introduction*. En S. Siegesmund & R. Snethlage (ed.), *Stone in Architecture* (pp. 1-10). Berlín, Alemania: Springer.

Sociedad de Arquitectos del Uruguay. (2016, 11 febrero). *Década del 40*. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://www.sau.org.uy/decada-del-40/>

Sprechmann, P.; Bossi, J.; Da Silva, J. (1981) *Cuencas del Jurásico y Cretácico de América del Uruguay*. Pp. 239-270 in VOLKHEIMER, W. & MUSSACHIO, E. A. (eds.), *Cuencas sedimentarias del Jurásico y Cretácico de América del Sur*.

Spoturno, J., Loureiro, J., Oyhantçabal, P., Pascale, A., (2012) *Mapa Geológico del Departamento de Maldonado (1ª ed.)*. [Mapa] 1:100.000. Montevideo, Uruguay.

Spoturno, J., Oyhantçabal, P., Loureiro, J. (2012). *Mapa Geológico del Departamento de Maldonado Escala 1/100 000 Memoria Explicativa Capítulo II. En: proyecto mapas geologicos departamentales escala 1/100 000 Acuerdo de Cooperación Científica y Técnica Facultad de Ciencias (UdelaR)-Dirección Nacional de Minería Y Geología (MIEM). Montevideo, Uruguay.*

Steiger, M., Charola, C. (2011) *Weathering and Deterioration. En: S. Siegesmund, R. Snethlage (ed.), Stone in Architecture, 4th ed., (pp. 227-316). Berlín, Alemania: Springer.*

Stein, J. (2004): *Introducing an international Register of Natural Stone. – In: Přikryl, R. (Ed.): Dimension Stone 2004. Proc. Internat. Conference, Prague, Czech Republic: 157-162, Leiden (Balkema).*

StoneContact. (s.f.). *Conglomerate. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://www.stonecontact.com/Main.aspx?pid=ProductSearch>*

Stück, H. (2013). *Dimensional Sandstones: Weathering Phenomena, Technical Properties and Numerical Modeling of Water Migration.*

Suraj Stone. (s.f.). *Application of Sandstone. Recuperado 25 enero, 2020, de http://www.kotasandstones.com/SandStone_Application.asp*

Teplá – monasterio premonstratense. (2019.). *Recuperado 25 enero, 2020, de <http://www.czech.cz/es/66492-tepla-monasterio-premonstratense>*

Tucker., M.E. (2003). *Sedimentary Rocks in the Field. Department of Geological Sciences University of Durham, UK: 9WILEY.*

Turismo Rocha. (2017). *Fortaleza de Santa Teresa en Rocha, Uruguay. Recuperado 25 enero, 2020, de <http://turismorocha.gub.uy/attractivos/historicos/fortaleza-de-santa-teresa>*

Turismo Rocha. (2017). *Fuerte de San Miguel: monumento histórico de Rochaaa, Uruguay. Recuperado 25 enero, 2020, de <http://turismorocha.gub.uy/attractivos/historicos/fuerte-de-san-miguel>*

UNESCO World Heritage Centre. (s.f.). *Taj Mahal. Recuperado 25 enero, 2020, <https://whc.unesco.org/en/list/252/>*

Universes in Universe. (s.f.). *Al-Khazneh. Recuperado 25 enero, 2020, de <https://universes.art/es/art-destinations/jordania/petra/al-khazneh/al-hubta-viewpoint+>*

Viles, H.A. *Urban air pollution and the deterioration of buildings and monuments. In: BRUNE, D. et al. (Ed.). The global environment: science, technology and management. Weinheim: Scandinavian Science Publ.; VCH, 1997, p. 599-609.*

Walther, K. (1911): *Las rocas cristalinas fundamentales de los alrededores de Montevideo. Revista del Instituto de Agronomía, (9): 1-39, Montevideo.*

Walther, K. (1919). *Líneas fundamentales de la estructura geológica de la República Oriental del Uruguay. Instituto Geológico y de Perforaciones del Uruguay, Bol. Nº3, 186 pp Montevideo*

Walther, K. (1924): *Estudios geológicos y geomorfológicos. Revista del Instituto de historia y Geografía, tomo III No. 1, 72 pág.*

Walther, K. (1933) *Restos de un Pez Ganoide de gran tamaño, proveniente del Neogondwana Uruguayo. Instituto de Geología y Perforaciones, Boletín 19: 65-72*

Wentworth, C. (1922). *A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. The Journal of Geology, 30(5), pp. 377-392.*

Zingg, Th., (1935). *Beiträge zur Schotteranalyse: Schweiz. Mineral. Petrog. Mitt., 15, 39-140.*

Anexo

Deterioros según ICOMOS-ICS (2011)

Grietas y deformación



Fig. A1. Fractura en placa de arenisca.

Fig. A2. Grieta en placa de arenisca (Iglesia Matriz).

Imágenes cedidas por Manuela Morales Demarco

Desprendimiento



Fig. A3. Ampollas de poca expresión en placa de arenisca



Fig. A4. Estallido en placa de arenisca



Fig. A5. Deslaminación

Imágenes cedidas por Manuela Morales Demarco



Fig. A6. Fragmentación en placa de arenisca
Imagen cedida por Manuela Morales Demarco



Fig. 7: Disyunción de películas.
Imagen tomada de ICOMOS (2011)



Fig. A8. Descamación
Imagen tomada de ICOMOS (2011)



Fig. A9. Disgregación granular
Imagen cedida por Manuela Morales Demarco

Rasgos inducidos por pérdida de material



Fig. A10. Alveolización en placa de arenisca. Imagen cedida por Manuela Morales Demarco



Fig. A11. Erosión (erosión diferencial)

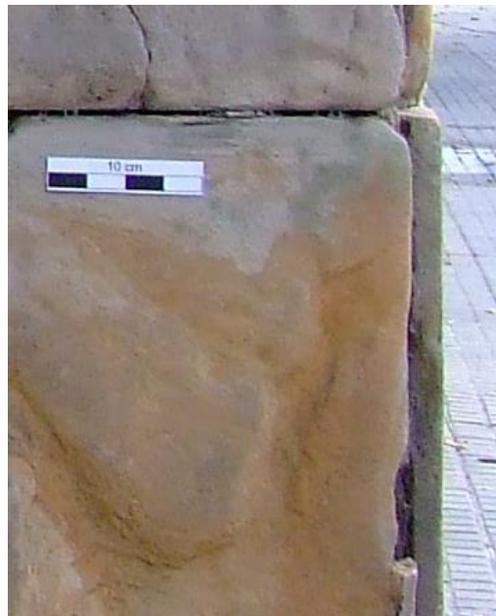


Fig. A12. Erosión (redondeamiento)

Imágenes cedidas por Manuela Morales Demarco



Fig. A13. Faltante en placa de arenisca
Imagen cedida por Manuela Morales Demarco



Fig. A14. Perforaciones (posiblemente insectos)

Alteración cromática y depósito



*Fig. A15. Depósito (Desechos orgánicos) Fig. A16. Depósito (Material desprendido de la propia roca)
Imágenes tomadas de ICOMOS (2011)*



*Fig. A17. Manchas de humedad en arenisca
Imagen cedida por Manuela Morales Demarco*



*Fig. A18. Tinción
Imagen tomada de ICOMOS (2011)*



Fig. A19. Eflorescencia (cristalización de sales) Imagen tomada de ICOMOS (2011)

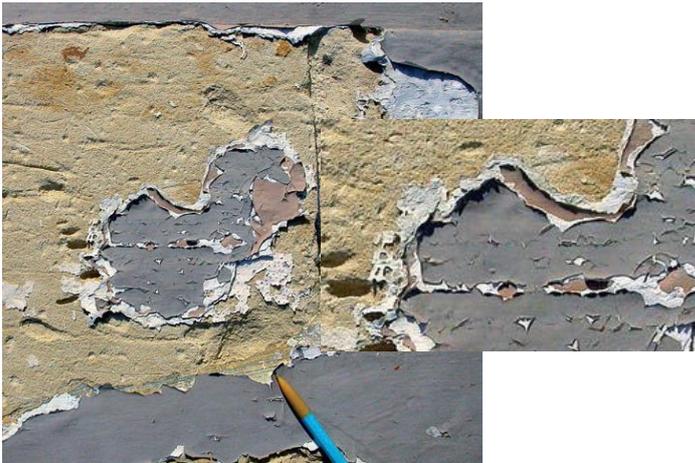


Fig. A20. Película. Imagen tomada de ICOMOS (2011)



*Fig. A21. Graffiti sobre placas de arenisca
Imagen cedida por Manuela Morales Demarco*



*Fig. A22. Enmugrecimiento
Imagen tomada de ICOMOS (2011)*

Biocolonización

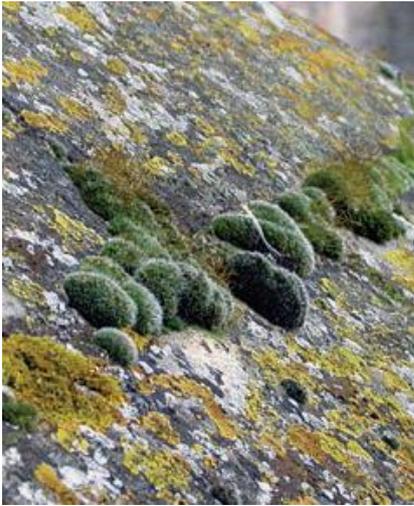


Fig. A23. Colonización biológica



Fig. A24. Líquenes

Imágenes tomadas de ICOMOS (2011)



Fig. A25. Musgos. Imagen tomada de ICOMOS (2011)



Fig. A26. Plantas Imagen tomada de ICOMOS (2011)