



**UNIVERSIDAD  
MAYOR**

para espíritus emprendedores

Facultad de Ciencias

**CONSTRUCCIÓN  
CIVIL**

**ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LA  
NANOTECNOLOGÍA EN LA MEJORA  
DE MATERIALES CONSTRUCTIVOS  
EN CHILE**

**Proyecto de título para optar al título de Constructor civil**

Estudiante:

Rodrigo Mauricio Guerrero Binimelli

Profesor Guía:

Nicolás Moreno Sepúlveda

Fecha:

Diciembre 2019 Santiago, Chile

## RESUMEN

Esta sección debe describir el marco conceptual del problema que aborda la presente tesis, para luego interpretarlo y analizarlo adecuadamente.

Es menester previamente definir el concepto de **Nanotecnología**: “Tecnología que comprende el estudio, diseño, creación, síntesis y manipulación de la materia a nivel nanométrico”. El prefijo “nano” corresponde a una unidad de medida que equivalente a la millonésima parte de un milímetro, o los mil millonésimos parte de un metro.

El presente trabajo de investigación, está centrado en hacer un análisis y dar a conocer nuevas tecnologías en relación con la nanotecnología, en aspectos tales como generación y estructuración de materiales o modificación de existentes. Esto implica el estudio de una serie de materiales que demuestran el beneficio de la utilización de la tecnología a escala nano, a través de un comportamiento más óptimo, en contraste con las tecnologías tradicionalmente utilizadas.

Hoy en día en la construcción tradicional, desde tiempos atrás hasta nuestros días, se han empleado fundamentalmente elementos constructivos de piedra, madera, hormigón armado y acero, materiales que cumplen adecuadamente su función, pero qué, bajo ciertas condiciones extremas, presentan algunos inconvenientes. Tal es el caso de la madera que requiere grandes inversiones en mantenimiento, el hormigón armado que en muchas ocasiones tiene una alta densidad de armaduras y demandan grandes capacidades para su manejo e instalación, el acero corrugado que presenta problemas de corrosión, entre otros, por ese motivo la nanotecnología involucra su tecnología para el mejoramiento de los materiales de construcción, con el fin de que sean más resistentes, ligeros y durables.

Dentro de las tecnologías nanotecnológicas a analizar a futuro, se tienen los materiales cementicios, como hormigones, morteros y lechadas, los cuales tendrán una mayor resistencia a la fisuración, una mayor resistencia a la compresión y a tracción y una mayor durabilidad; podrán ser también más impermeables.

Se estima que alrededor de un 25% de los propietarios, de estructuras de hormigón que han sido reparadas, están insatisfechos con el resultado de dicha intervención y del resultado de los materiales de protección utilizados en los 5 años posteriores a la reparación; un 75% lo están durante los 10 años siguientes.

Así se podrá observar, que la adición de **nanopartículas** al hormigón, puede permitir controlar la porosidad, por otra parte, reforzando al hormigón con nanotubos de carbono puede incrementarse su resistencia a la tracción y evitar la propagación de grietas.

Otro aspecto importante que considerar es el desarrollo de la nanotecnología en la fabricación del acero, conocido por su versatilidad, resistencia y bajo costo. El desarrollo de nuevos aceros con **propiedades especiales** ha encontrado en la aplicación de la nanotecnología un impulso mayor. La obtención de tamaños de

grano, precipitados u óxidos muy pequeños, por diversos métodos, muchos de los cuales escapan a los procesos industriales más usuales, permiten obtener aceros con propiedades especiales, en lo relativo a su resistencia mecánica, dureza, resistencia a la corrosión, a la oxidación, entre otros.

En la próxima década, los aceros nanoestructurados, pueden ser una de las claves tecnológicas del siglo XXI, teniendo un importante rol en el diseño industrial y la arquitectura.

La nanotecnología, además de colaborar en la mejora de diversos materiales y participar en distintos desarrollos, también actúa en el área de los aditivos y diversos materiales de esa índole: pinturas, pegamentos, etc.

A continuación, podemos citar un material más destacado en el campo de las pinturas. **“Pintura nansulate”**.

Otro aspecto interesante que considerar respecto a la nanotecnología, son las estructuras inteligentes, estructuras que pueden repararse a sí misma cuando se quiebran; en función a esto en los últimos años, se ha estado desarrollando un tipo de **“hormigón auto reparante”** en base a polímeros estructurales con la habilidad de reparar grietas en forma automática.

Un aspecto importante para considerar es la protección sísmica de estructuras; Chile es un país sísmico, el terremoto del 2010 dejó en evidencia, que nuestra población demanda algo más del sector de la construcción, que el solo hecho de evitar el colapso de las estructuras en sismo de intensidad excepcionalmente severa. Es en esta área donde la innovación en el sector construcción ha desarrollado nuevas soluciones tecnológicas, que permitan avanzar en el logro de estos objetivos.

En nuestro país, durante los últimos años se han incorporado sistemas de Aislación sísmica y Disipación de Energía, los que incluyen desde diseños relativamente simples hasta avanzados sistemas totalmente automatizados (Revista EMB Construcción – Protección Sísmica de Estructuras – Febrero 2019).

## SUMMARY

This section must describe the conceptual framework of the problem that addresses this thesis, and then interpret and analyze it appropriately.

It is necessary to previously define the **Nanotechnology** concept: “Technology that includes the study, design, synthesis and matter manipulation at the nanometric level”. The prefix “nano” correspond to a measure unit that is equivalent to one millionth of a millimeter, or one billionth of a meter.

The present research work is focused on making an analysis and publicizing new technologies in relation to nanotechnology, in such aspects like generation and structure of materials or modification of existing ones. This involves the study of a number of materials that demonstrate the benefit of using technology at nano scale, through more optimal behavior, in contrast to traditionally used technologies.

In traditional construction, from time to day, essentially there have been used constructive elements of stone, wood, reinforced concrete and steel. Materials that adequately fulfill their function, but, under certain extreme conditions, present some drawbacks. Such is the case of wood that requires large investments in maintenance; the reinforced concrete that often has a high density of armor and demands large capacities for its handling and installation; the corrugated steel that present problems of corrosion; among others. For those reasons nanotechnology involves its technology for construction materials improvement, in order to make them more resistant, lighter and durable.

Among the nanotechnological technologies to be analyzed in the future, there are the cementitious materials, such as concretes, mortars and grouts, which will have greater resistance to cracking, more resistance also to compression and traction, as well as more durability, and may also be more waterproof.

It is estimated that around 25% of the owners of concrete structures that have been repaired are dissatisfied with the result of such intervention and also with the result of the protective materials used in the 5 years after the repair; a 75% is unsatisfied in the next 10 years.

Thus it can be observed that the addition of **nanoparticles** to concrete, can allow to control porosity, on the other hand, by reinforcing concrete with carbon nanotubes can increase its tensile strength and avoid the spread of cracks.

Another important aspect to consider is the development of nanotechnology in the manufacture of steel, known for its versatility, strength and low cost. The development of new steels with **special properties** has found in the application of nanotechnology a greater impulse. By diverse methods (many of them escape to the most common industrial processes) the obtaining of grit size, precipitates or very small oxides, allow to obtain steels with special properties, in relation to their mechanical strength, hardness, resistance to corrosion, oxidation, among others.

In the next decade, nanostructured steels can be one of the technological keys of 21<sup>st</sup> century, having an important role on industrial design and architecture.

Besides of collaborate in the improvement of several materials and to participate in diverse developments, nanotechnology also acts in the area of additives and different materials of that nature like: paints, glues, etc.

Next, we can cite a more prominent material in the field of paintings. **“Nansulate Paint”**.

Another interesting aspect to consider about nanotechnology, are the smart structures, this structures can repair to themselves when they broke. According to this, in the last years, a type of **“self-repairing concrete”** has been developed based on structural polymers with the ability to repair cracks automatically.

An important aspect to have in mind is the seismic protection of structures. Chile, is a seismic country, the 2010 earthquake left in evidence that our population demands something more from the construction sector, besides just the fact to prevent the collapse of structures in earthquakes of exceptionally severe intensity. It is in this area where the innovation in the construction sector has developed new technology solutions, which allows progress in the achievement of these objectives.

During the past few years, in our country there have been incorporated seismic insulation systems and dissipation of energy, which include from relative simple designs to advanced fully automated systems. (Magazine EMB Construcción – Protección Sísmica de Estructuras – February 2019)

## **INDICE DE CONTENIDOS**

### **CAPITULO I: ASPECTOS INTRODUCTORIOS**

1.1.	Introducción .....	Pg.8
1.2.	Objetivos Generales de la investigación .....	Pg.9
1.2.1	Objetivos Específicos de la investigación .....	Pg.9
1.3.	Marco Metodológico .....	Pg. 9-10
1.4.	Antecedentes Bibliográficos de la Nanotecnología .....	Pg 11-12
1.4.1	Nanotecnología en América Latina .....	Pg.12-14
1.4.2	Nanotecnología en Chile .....	Pg.14-15

### **CAPITULO II: GENERALIDADES RESPECTO A MORTEROS, HORMIGONES Y OTROS MATERIALES CONVENCIONALES.**

2.0	Aspectos Introductorios.....	Pg. 15-16
2.1.	Generalidades del Cemento Portland.....	Pg.16-18
2.2.	Generalidades de los Cementos Chilenos.....	Pg.18-19
2.3.	Generalidades de los Cementos Siderúrgicos.....	Pg.19-20
2.4.	Generalidades de Aditivos para Morteros y Hormigones .....	Pg.20-22
2.5.	Generalidades de los Polímeros.....	Pg.23-27

### **CAPITULO III: APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGIA EN LA CONSTRUCCION.**

3.0	Morteros y Hormigones a Escala Nanómetro.....	Pg.27-32
3.1.	Nanotecnología en Morteros de Reparación Estructural.....	Pg.32-33
3.2.	Nanotecnología en la Construcción de Túneles y Obras Mineras...Pg.33-34	
3.3.	Nanotecnología en la Fabricación del Acero.....	Pg.34
3.3.1	Generalidades respecto al Acero.....	Pg.34
3.3.2	Acero a Escala Nanométrica.....	Pg.35-37
3.4	Nanotecnología y Pinturas Convencionales.....	Pg. 37-39
3.5.	Nanotecnología y Productos Inteligentes.....	Pg. 40
3.5.1	Nanotecnología y Casas que se auto - reparan.....	Pg. 40
3.5.2	Pinturas Inteligentes que detecta Fallas en Estructuras.....	Pg. 41
3.5.3	Hormigones autorreparables .....	Pg. 41-42

### **CAPITULO IV: GENERALIDADES DE LA PARTE FINAL.**

4.0	Conclusiones.....	Pg.42
4.1.	Glosario.....	Pg. 43-47
4.2.	Bibliografía .....	Pg. 48

## **INDICE DE IMAGENES**

- Imagen N° 1:** Esquema comparativo nanotubos de carbono simple y múltiple.....31  
**Imagen N°2:** Esquema tipos de estructuras químicas del acero ..... 35

## **INDICE DE TABLAS**

- Tabla N°1:** Tabla Instituciones públicas a favor de la nanotecnología .....13  
**Tabla N° 2:** Tabla con tipos de polímeros existentes ..... 25  
**Tabla N°3:** Tabla con nanoparticulas y cambio de propiedades en hormigon..29  
**Tabla N°4:** Tabla con tipos de morteros nanotecnologicos.....33  
**Tabla N°5:** Tabla de adición de nanotecnología en revestimientos.....39

SOLO USO ACADÉMICO

## **CAPITULO I: ASPECTOS INTRODUCTORIOS**

### **1.- INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de título tiene como objetivo principal, buscar en el marco del desarrollo de nuevas tecnologías y materiales para la construcción de obras civiles, los aportes de la Nanotecnología, aplicadas a la industria de la construcción.

La Nanotecnología permitirá, por ejemplo, la fabricación de nuevos materiales de construcción, más resistentes y dúctiles que el acero, actual material que se emplea en la construcción, manteniendo sus propiedades resistentes a temperaturas más altas y con una mayor resistencia a la corrosión, entre otras propiedades. Se fabricaron materiales con un mayor poder aislante y materiales más resistentes al fuego.

Por otra parte, la Nanotecnología también pone énfasis en el medio ambiente; los nuevos materiales serán más ecológicos y eficientes, fabricados con un menor consumo de energía y una menor emisión de gases como el CO<sub>2</sub>, tendrán también la capacidad de eliminar elementos contaminantes existentes en la atmósfera, como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno entre otros.

De acuerdo con lo planteado, el presente trabajo tiene como necesidad, conocer y estudiar los avances, que se han ido gestando a través de la nanotecnología, para así poder tener una visión más amplia en el desempeño profesional, en cuanto a la selección del material a utilizar, por mencionar alguno, tenemos el hormigón, los aditivos que este contiene y las propiedades que se ven favorecidas por su utilización.

En América Latina, Brasil, Argentina y México, son los países donde las Nanotecnología ha tenido avances más relevantes. Chile está muy atrasado con respecto a ellos, y a años luz del resto del mundo, nuestro país necesita una política agresiva de apoyo en Nanociencia, sobre todo en la formación de nuevas generaciones de científicos, para afrontar los nuevos desafíos en el área (Solis, 2007).



## **1.2. OBJETIVOS GENERALES DE LA INVESTIGACION**

De modo general, el objetivo del presente trabajo de investigación es el siguiente:

### **Generar conocimiento y análisis del impacto de la Nanotecnología en el sector de la construcción”**

Este objetivo conlleva a analizar diversas aplicaciones nanotecnológicas, mejora de materiales estructurales, generación de materiales inteligentes y en general diversos desarrollos de materiales.

El objetivo principal implica hacer un énfasis en el uso de la nanotecnología para la mejora de materiales de tipo estructural, como hormigón y acero, destacando al mortero, el cual será objeto de un análisis especial.

Las diversas aplicaciones nanotecnológicas, serán una guía que nos permita entender su comportamiento a escala nanométrica.

### **1.2.1. Objetivos Específicos de la Investigación**

Algunos objetivos de carácter más específicos de la presente investigación son:

- Mostrar los avances de la nanotecnología en la industria del hormigón y morteros, en atención de la construcción de las obras civiles.
- Analizar y/o comprender los mecanismos de mejora de las propiedades materiales y/o estructurales que genera el uso de un agente basado en nanotecnología.
- Conocer los materiales nanoestructurados, fabricados a nanoescala.
- Conocer los nanotubos de carbón, como material de propiedades únicas en términos electrónicos y mecánicos, entre otros.
- Enfatizar en los aspectos prácticos que la nanotecnología ha tenido y tendrá en aplicaciones tales como la infraestructura vial, construcción en acero y sistemas de aislación sísmica y disipación energía.

## **1.3. Marco Metodológico**

En esta sección nos abocaremos a señalar las fundamentaciones teóricas que van a justificar el estudio del tema elegido.

### **“Análisis y Aplicación de la Nanotecnología en la Mejora de Materiales Constructivos en Chile”.**

Hoy en día en la construcción tradicional, existen una serie de materiales constructivos, que si bien es cierto cumplen adecuadamente su función, pero qué

bajo ciertas condiciones presentan algunos inconvenientes, por citar alguno, tenemos el acero corrugado, que es un tipo de acero laminado que se utiliza para las estructuras de hormigón armado, sin embargo es una aleación bastante contaminante del medio ambiente, emite 1,7 toneladas de dióxido de carbono por cada tonelada de acero producidos; por otra parte presenta problemas de corrosión.

En este sentido, la nanotecnología es importante en relación con los materiales constructivos convencionales, porque presente las siguientes características:

- **Trabaja a escala Nanométrica**

Esto quiere decir, que un nanómetro (nm) es las mil millonésimas parte de un metro.

Para comprender el potencial de esta tecnología es clave saber, las nanotecnologías son una variedad de técnicas que permiten manipular la materia a escala atómica y molecular. La importancia radica, en que los materiales a escala de aproximadamente entre 1 a 100 nanómetros (nm) manifiestan propiedades físicas, químicas y biológicas, diferentes a las que la misma materia presenta en escala mayor. Así tenemos que la conductividad eléctrica, el calor, la resistencia, la elasticidad, la reactividad, entre otras propiedades, se comportan a escala nano, de manera diferente a las que la misma materia presenta en escala mayor.

En consecuencia, la materia muestra, propiedades completamente nuevas si manipulamos sus estructuras a escala nanométrica. Por ejemplo, el oro que no es reactivo en mayor tamaño, se vuelve reactivo en tamaño nano y es utilizado para elaborar sensores; el carbono como grafito es blando, pero el carbono en nanotubos es más duro que el acero. Todos los elementos químicos presentan diferente comportamiento en escala nano. Esta particularidad, permite vastas modificaciones en la funcionalidad de los productos y ha hecho que se considere a las nanotecnologías como la próxima revolución industria

### **A través de la Nanotecnología se pueden controlar átomos y moléculas.**

Richard Feynman, premio nobel de física año 1965, es considerado el padre de la nanotecnología; Feynman considera que es posible manipular la materia átomo por átomo o molécula por molécula, lo que implica que las propiedades de materiales o dispositivos puedan estar en el rango de nanómetros y que estos materiales y dispositivos sean construidos a partir de átomos o moléculas individuales.

De acuerdo con lo anterior, la nanotecnología permite manejar átomos y moléculas con absoluta precisión, además se puede controlar con toda precisión la morfología de sustancias o partículas a dimensiones nanoescalares, para obtener productos nanoestructurados, lo cual, ha conducido a una serie de nuevos materiales cuyas propiedades y características básicas pueden ser prediseñada antes de su creación.

Los materiales resultantes han demostrado romper con nuestra comprensión general del comportamiento de los materiales convencionales.

Esta manipulación de la materia a nivel nanométrico, permite obtener materiales de construcción, más resistentes y dúctiles, manteniendo sus propiedades resistentes a temperaturas más altas y con una mayor resistencia a la corrosión.

Por ductilidad se entiende la propiedad de aquellos materiales que, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sin lugar a romperse, por ejemplo, ciertos metales como el acero, asfaltos entre otros materiales.

### **La Nanotecnología promete soluciones nuevas y más eficientes para los problemas ambientales.**

La nanotecnología también ha puesto énfasis en el medio ambiente, los nuevos materiales serán más ecológicos y eficientes, fabricados con un menor requerimiento de energía y una menor emisión de gases como el CO<sub>2</sub>, tendrán también la capacidad de eliminar elementos contaminantes, existentes en la atmosfera, como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno entre otros.

La nanotecnología a simple vista nos muestra un sin número de beneficios, y sobre todo un avance muy significativo para el desarrollo tecnológico, pero no hay que dejar de lado el análisis con respecto al impacto que este pueda provocar en el medio ambiente, puesto que la manipulación de estas moléculas aunque muy pequeñas, podrían representar uno que otro inconveniente de los productos no regulados con nuestro entorno.

También podríamos destacar que la nanotecnología, limitaría mucho más el número de fábricas de productivas, cuya actividad contamina de forma grave el medio ambiente.

- El fundamento principal que justifica el desarrollo del presente trabajo de investigación, se circunscribe a tener el conocimiento que entrega la nanotecnología en la mejora de materiales estructurales, generación de materiales inteligentes, uso de sistemas de aislación sísmica y disipación de energía, entre otros, para así poder tener una visión más amplia en el desempeño profesional.

#### **1.4. Antecedentes Bibliográficos de la Nanotecnología.**

En esta sección se tratará de hacer una breve reseña histórica en relación con la Nanotecnología y sus avances en América Latina, específicamente Chile.

Como se ha mencionado, el premio Nobel de Física Richard Feynman fue el primero en hacer referencia a las posibilidades de la nanociencia y nanotecnología, en el célebre discurso que dio en el Coltech (Instituto Tecnológico de California) el 29 de diciembre de 1959. En este célebre discurso Feynman fue el primero en aventurarse a decir, que aparecerían nuevas propiedades, si los materiales se fabricarán a nivel de átomos y moléculas.

Durante las décadas de 1970 y 1980 vieron que el nacimiento y el rápido desarrollo de la nanotecnología; permitió manejar átomos y moléculas con absoluta precisión,

para construir estructuras microscópicas con especificaciones atómicas sumamente complejas y caprichosas. Es por ello, que a la nanotecnología se le conoce con el nombre de “Tecnología Molecular”.

Otro visionario de esta área fue Erick Drexler quien predijo que la nanotecnología podría usarse para solucionar muchos de los problemas de la humanidad, sin embargo, sus ideas parecen exageradas en la opinión de otros expertos, como Richard Smalley.

Algunos países en vías de desarrollo ya destinan importantes recursos a la investigación en nanotecnología. La nanomedicina es una de las áreas que más puede contribuir el avance sostenible del Tercer Mundo, proporcionando nuevos métodos de diagnóstico, mejores sistemas para la administración de fármacos y herramientas para la monitorización de algunos parámetros biológicos (Martín 2007).

Como señalan Murphy y Doherty (2007), la nanociencia, tendrá la capacidad de cambiar la manera en que la gente vive su vida, actualmente, alrededor de 40 laboratorios, en todo el mundo canalizan grandes cantidades de dinero para la investigación en nanotecnología. Unas 300 empresas tienen el término “nano” en su nombre, aunque todavía hay pocos productos en el mercado.

Algunos gigantes del mundo informático como IBM, Hewlett-Packard (HP), NEC e Intel, están invirtiendo millones de dólares al año en el tema.

El reconocimiento mundial fue logrado ante el anuncio de que dos expertos en nanotecnología el francés Albert Fert y el alemán Peter Grunberg fueron premiados con el Nobel de Física 2007, por su descubrimiento por separado en el año 1988, de la llamada Magneto-Resistencia Gigante, que es utilizada para leer información de discos duros informáticos, que ha permitido multiplicar por 100 a 200 veces su capacidad y así minimizar su tamaño.

Esto constituyó el principio que sirvió de base a la revolución informática de miniaturización de discos duros. El galardón premia así a la primera gran aplicación práctica, por su gran impacto social, y por el real y prometedor campo de la nanotecnología. (The Official Website of the Noble Foundation, 2007).

#### **1.4.1. Nanotecnología en América Latina.**

En todos los países de América Latina, se ha reconocido la nanotecnología como uno de los principales ejes del desarrollo tecnológico estratégico, casi todos los países latinoamericanos esperan mejorar la competitividad del país, acelerando los pasos de la nanociencia y la nanotecnología.

Brasil ha incrementado los fondos federales para su programa de nanotecnología; en México, la Comisión de Ciencia y Tecnología del Senado, se ha declarado en favor del desarrollo de un Programa Nacional de Emergencia para incrementar la inversión en investigación y la formación en nanotecnología; y en Colombia se ha creado el Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología.

En general, el argumento gubernamental es que la nanotecnología puede mejorar la competitividad y superar los problemas de una economía más lenta y los asociados, es la pobreza (fuente newswiretoday.com). Así se ha incorporado a las nanotecnologías, como área prioritaria de desarrollo en sus políticas públicas. La principal característica de estas políticas es el apoyo a la investigación y desarrollo de las nanotecnologías, buscando integrar los centros y las Universidades Públicas con la empresa privada, para potenciar la innovación y la competitividad.

El siguiente cuadro presenta las instituciones públicas en favor de las nanotecnologías o inclusión, como área prioritaria en planes de desarrollo en países de América Latina.

**Tabla N°1:** Formato Propio Excel

<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Institución Promotora</b>
2000	Brasil	Ministerio de Ciencias y Tecnología
2001	México	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
2003	Argentina	Secretaría de Ciencia y Tecnología
2004	Colombia	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación
2004	Costa Rica	Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas.
2005	Guatemala	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
2005	Ecuador	Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología
2006	El Salvador	Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología
2006	Perú	Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
2008	República Dominicana	Secretaría de Estado de Educación Superior, Ciencia y Tecnología
2009	Uruguay	Gabinete Ministerial de la Innovación
2010	Panamá	Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Fuente: Published by Universidad Nacional Autónoma de México, 2016.

En América Latina, casi todos los fondos para investigación y desarrollo de nanotecnologías son públicos. En algunos países, como es el caso de Brasil, México, Argentina y Chile, hay fondos dirigidos explícitamente a las nanotecnologías (Foladori e Invernizzi, 2013), en otros países los investigadores deben competir en concursos junto a otros áreas o tópicos de investigación.

Por lo general, la idea gubernamental es dar un primer estímulo y luego las empresas privadas se encarguen, a partir de allí, en invertir en investigación y desarrollo de las

nanociencias y nanotecnologías y en incorporar los conocimientos a los procesos productivos, para la innovación de productos en el mercado.

#### **1.4.2. Nanotecnología en Chile.**

La nanotecnología es considerada como la tecnología del siglo XXI, Estados Unidos, China y la Comunidad Europea lideran en investigación, mientras en Chile aparecen sus primeros avances con bastante éxito.

Brasil invierte en esta temática cerca de US\$ 50 millones y Argentina 10 a 15 millones de dólares anuales; Chile a pesar de ser el país que menos invierte en innovación según la OCDE, no se queda atrás y es pionero en este materia a nivel latinoamericano, porque llevamos un tiempo desarrollando nuestros propios métodos y, a nivel internacional, la nanotecnología comenzó a ser considerada muy fuerte hace 30 años, pero sólo hace 15 años que cuenta con presupuesto gigantescos en países como Estados Unidos, Alemania y ahora recientemente China.

Según William Gacitúa, director del Centro de Biomateriales y Nanotecnología de la Universidad del Biobío, señala: “La nanotecnología ha tenido un avance tremendo en Chile, con muchas universidades que ya tienen líneas consolidadas en diversos ámbitos, que incluye nanomateriales, nanoprosos y nanofacturas, y donde los científicos nacionales están trabajando en la búsqueda de nuevas aplicaciones”.

Durante un seminario organizado por la Fundación Copec-UC, sobre la nanotecnología, Ignacio Sánchez, rector de la Universidad Católica de Chile, señaló que: “Chile ofrece un interesante potencial para el desarrollo en esta disciplina, ya que, actualmente, tenemos buenos científicos en las diferentes universidades del país, que están dedicados a la investigación básica de la nano-ciencia. Sin embargo, existen muchos desafíos que aún se deben enfrentar, como, por ejemplo, implementar una mayor infraestructura para hacer más competitiva la transferencia tecnológica”.

En Chile existen ciertos desarrollos puntuales en nanotecnología, principalmente enfocados en el sector salud, energía, minería y materiales de construcción, específicamente en el área de los nanocementos y en la producción de nanoalambres. También se cuentan nuevos materiales que aprovechan las propiedades biocidas del cobre, como el caso de la empresa Conversiones San José (C.S.J.), que acaba de desarrollar un Bio Gel Coat (recubrimiento plástico que se aplica en la fibra del vidrio) para proteger las ambulancias contra gérmenes, bacterias, virus y hongos.

Pero aún no se puede hablar de una industria potente, manipulando materia a escala atómica. “Todavía es una tecnología emergente que está en vía de desarrollo”. (Patricio Jarpa, gerente Nanotec Chile).

Expertos coinciden en que el país debe invertir en el área de la nanotecnología, como una manera de darle valor agregado a las materias primas que exporta. Chile debe poner el foco en esta área, porque tiene reservas de litio, cobre, minerales y hay que

añadir valor, si no, otros van a tomar esa oportunidad (Javier García, cofundador de Rive-Technology).

Con fecha 17 de agosto de 2018, el presidente de la República de Chile, Sr. Sebastián Piñera Echeñique, creó el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile. Este Ministerio tendrá entre otras tareas, el diseño, formulación, coordinación, implementación y evaluación de las políticas, planes y programas destinados a fomentar y fortalecer la ciencia, la tecnología y la investigación.

Con la creación de este Ministerio, se pretende dar un apoyo a la nanociencia, sobre todo en la formación de nuevas generaciones de científicos, para afrontar los nuevos desafíos en el área de nanotecnología.

## **CAPITULO II: GENERALIDADES RESPECTO A MORTEROS, HORMIGONES Y OTROS MATERIALES CONVENCIONALES**

### **2.0.- Aspectos Introdutorios**

El mortero es un material que viene empleándose en las construcciones desde tiempos muy remotos y en diferentes usos; ha sido utilizado como material de pega para bloques de piedra en la construcción de los edificios más antiguos que recuerda la historia en Asiria, Babilonia, etc.; así como para los primeros pavimentos de caminos.

Para la fabricación de los morteros se utilizan básicamente: un árido fino, no mayor a 5 mm (arena), un conglomerante (cemento), agua y eventualmente aditivos o adiciones.

Las funciones que el mortero cumple son por lo general bastante limitadas, debido fundamentalmente al bajo desarrollo tecnológico del que este ha sido objeto, lo que implica que su utilización ha sido muy subestimada, relacionándolo sólo con las siguientes áreas:

- Como mortero de junta, para la adherencia de unidades de albañilería.
- Como mortero de estuco, para recubrimiento de superficies de albañilería u hormigón
- Como mortero de pega, para unir piezas de revestimiento prefabricadas (baldosas, pastelones, elementos cerámicos, etc.)
- Como mortero proyectado, para el recubrimiento y sustentación de superficies de suelo, roca, hormigón u otros materiales.
- Como mortero de inyección de fisuras y grietas en elementos de hormigón, roca u otros.
- Como material de reparación, especialmente en obras de hormigón.
- Como recubrimiento interior de tubos metálicos.
- Como morteros de tratamiento de juntas de hormigonado.

Para un adecuado cumplimiento de estas funciones, en su composición sólo participa normalmente un árido fino, generalmente de tamaño máximo igual o inferior a 5 mm de diámetro (avena); los áridos superiores a 5 mm de diámetro se denominan áridos gruesos o gravas.

Hasta ahora nos hemos referido al mortero; en relación al hormigón, se compone básicamente de los mismos materiales: árido (arena), pasta de cemento, agua y eventualmente aditivos o adiciones; la diferencia radica en el tamaño de los áridos considerados, mientras que para el mortero el tamaño máximo corresponde a 5 mm (avena), en el caso del hormigón, además de la arena, debemos agregar partículas de mayor tamaño, tales como gravillas (20 mm) y grava (40 mm).

A continuación, se caracterizará brevemente el conglomerante de morteros y hormigones. El cemento corresponde a un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse, después de ponerse en contacto con el agua (proceso denominado hidratación del cemento). Se emplea por lo general para tapar o rellenar huecos y como componente aglutinante en bloques de hormigón y en argamasas. (Enciclopedia Wikipedia).

La materia prima principal del cemento es el clínquer, producto formado esencialmente por silicatos de calcio hidráulico, denominado también gel C-S-H, es un silicato cálcico hidratado que ha sufrido una reacción de hidratación para convertirse en un gel cementoso. Es el responsable de las propiedades resistentes del cemento. Al fraguar el silicato cálcico hidratado, los filamentos del silicato traban el árido, (arena y/o gravilla grava), generando la estructura rígida del material endurecido.

Como materias primas para el clínquer se emplean materiales calizos y arcillosos. Dentro de los materiales calizos pueden usarse caliza, margas, conchas marinas, etc. Como materiales arcillosos, arcillas, pizarras, esquistos, escoria, etc. Algunos de estos materiales, por ejemplo, las margas y la escoria, son a su vez, calcáreos y arcillosos.

Los materiales calizos contienen principalmente carbonato de cálcico, los materiales arcillosos contienen, óxido de silicio o sílice, de aluminio o alúmina y de hierro, con una cierta cantidad de agua libre y de agua de cristalización.

## **2.1. Generalidades del Cemento Portland**

Hoy en día una gran variedad de conglomerantes, siendo el más relevante los calcáreos y dentro de este el Cemento Portland, cuya creación se le asigna a Joseph Aspdin (1824), quien por casualidad produjo una mezcla, parecida en color a las rocas de portland, lo que le valió ese nombre a este cemento.

El cemento portland, compuesto de una mezcla de caliza y arcilla, o un conglomerante o cementos hidráulicos, que cuando se mezcla áridos, agua y fibras de acero discontinuas y discretas, tiene la propiedad de conformar una masa pétreo



resistente y duradera denominada hormigón; también llamado concreto en varias partes de Hispanoamérica.

El cemento portland o hidráulico tiene la propiedad de fraguar, ser muy resistente y endurecer en presencia de agua y formar un producto de características plásticas con propiedades adherentes, que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica.

El estudio del cemento Portland puro es relevante considerando que para nuestros cementos la base de ellos es clínker mas yeso y son los responsables de las propiedades iniciales de cualquier material aglomerado con ellos.

Los cementos portland son de composición variable, pero comprendida entre ciertos límites. El análisis químico de un cemento se expresa por sus óxidos. Los componentes principales de un cemento portland son: cal, sílice, alúmina, óxido de hierro; ellas constituyen, en la composición media, el 94% del total.

Estos cuatro compuestos son identificables al microscopio con alta definición como cuatro fases diferentes. Tienen distintas propiedades y de su proporción dependen por tanto las características principales de un cemento portland. Los cuatros componentes podrían considerarse aisladamente como cuatro cementos diferentes, pues todos ellos tienen la virtud de fraguar y endurecerse; pero esto lo hacen a distinta velocidad y alcanzando diferentes valores de resistencia. Como el fraguado y endurecimiento se producen por reacciones con el agua, de tipo exotérmicas, su distinta velocidad está relacionada directamente con el calor de hidratación liberado.

Si se incrementa la velocidad de hidratación, sube el desarrollo de la resistencia a temprana edad, pero se perjudica la resistencia final. La hidratación lenta y retardada permite la formación de una estructura microcristalina (gel) de gran superficie, que da como resultado una buena resistencia.

- |          |   |
|----------|---|
| Tipo I   | Cemento destinado a obras de concreto en general: edificios, estructuras industriales, conjuntos habitacionales. Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.  |
| Tipo II  | De moderada resistencia a los sulfatos. Destinada a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado. Aplicado en puertos, tuberías de cemento, entre otras aplicaciones. |
| Tipo III | Alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de concreto reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días de vaciado.  |
| Tipo IV  | Cuando se requiere bajo calor de hidratación, en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado, empleado en generar en estructuras de grandes volúmenes (Presas).  |

Tipo V Usado donde se requieran una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas, obras portuarias).

A continuación, se señalará las características generales del cemento portland:

Resistencia	La compresión es afectada fuertemente por la relación agua /cemento, la edad o la magnitud del proceso de hidratación.
Durabilidad y flexibilidad	Es un material que no sufre deformación alguna.
Cemento hidráulico	Porque al mezclarse con agua, reacciona químicamente hasta endurecer. El cemento es capaz de endurecer en condiciones secas y húmedas, e incluso bajo el agua.
Cemento moldeable	Al entrar en contacto con el agua y los agregados, como la arena, la grava y el cemento, es capaz de asumir cualquier forma tridimensional.

El cemento, el hormigón o concreto hecho con cemento portland, es tan durable como la piedra. A pesar de las condiciones climáticas, el cemento conserva la forma y el volumen y su durabilidad se incrementa con el paso del tiempo.

El cemento es un adhesivo tan efectivo que una vez que fragua, es casi imposible romper su enlace con los materiales tales como el ladrillo, el acero, la grava y la roca.

Por otra parte, el cemento ofrece un excelente aislante contra los ruidos, cuando se calculan correctamente los espesores de pisos, paredes y cubiertas de concreto.

## 2.2. Generalidades de los Cemento chilenos

Los cementos chilenos emplean en su composición química, adiciones con características conglomerantes, en presencia de los hidróxidos como resultado de la hidratación del clínquer, siendo ellas la puzolana y la escoria de alto horno, en proporciones de aproximadamente un 30 %.

Los cementos Pórtland con adiciones minerales activas, presentan mejor desempeño ante agentes agresivos que los cementos portland puros, debido a su menor permeabilidad.

El cemento puzolánico es una mezcla de cemento portland y puzolanas naturales o artificiales en proporción del 15% al 40%, según sea la más conveniente.

Como se ha mencionado las puzolanas son sustancias, que en sí mismas no tienen propiedades conglomerantes, pero que reaccionan con la cal a la temperatura ordinaria. para formar compuestos estables insolubles con propiedades conglomerantes, esta reacción es secundaria y no genera calor.

El nombre de puzolana proviene del uso que los romanos hicieron de una ceniza volcánica de Pozzuoli, localidad cercana al Vesubio, este nombre se aplica ahora a cualquier material con las propiedades citadas.

Hay muchas tobas volcánicas que sirven como puzolanas, como son la Tosca de Tenerife y las cenizas que se hayan en países volcánicos, como México, Japón, Nueva Zelanda, parte de Estados Unidos, etc. En Chile tenemos puzolanas, famosas son las de Barrancas y Pudahuel, conocidas como tierras blancas y se encuentra en gran parte de nuestro país. Como puzolanas artificiales están las arcillas y esquistos calcinados.

Este cemento puzolánico es de mayor resistencia a los agentes químicos, se caracteriza por desarrollar menos calor al fraguar, tener menor dilatación y ser más impermeable que el cemento portland, disminuyendo la exudación y segregación.

La puzolana es una piedra de naturaleza ácida, muy reactiva, al ser muy porosa. Un cemento puzolánico está formado por: Clinquer entre un 55% a 70%, entre un 30% a 40% de puzolana y valores comprendidos entre 2% a 4% de yeso.

En Chile, los cementos con menos de 30% de puzolana se llaman cementos Portland Puzolánicos; si el agregado de puzolana está comprendido entre 30% y 50% en peso, del total del cemento, los cementos se llaman simplemente Puzolánicos, según normas INN (Instituto Nacional de Normalización).

### 2.3.- **Cementos Siderúrgicos**

Los cementos que emplean en su proceso de fabricación la escoria de alto horno como adición, su producción se centraliza en la ciudad de Talcahuano, empleando como materia prima los desechos industriales de la Siderúrgica Huachipato.

Las escorias de alto horno son materiales muy utilizados como adición activa para la elaboración de distintos cementos comerciales. Estos cementos siderúrgicos tienen algunas propiedades y características sensiblemente mejores que los cementos Portland ordinarios, tales como menor generación de calor de hidratación, alta resistencia a los sulfatos y al agua de mar, entre otros aspectos.

Las escorias de alto horno y más concretamente las granuladas o peletizadas, tienen capacidad hidráulica latente o potencial; es decir, que cuando se emplean finamente molidas y amasadas con agua, son capaces de fraguar y endurecer. Esta capacidad hidráulica potencial de las escorias está muy atenuada y se manifiesta con lentitud, precisando de ciertos activadores para acelerar sus reacciones de hidratación.

El investigador Teoreanu propone un mecanismo de la hidratación en el sistema cemento portland-escoria-agua. Este mecanismo ocurre a través de las siguientes etapas:

- a) Inmediatamente después del amasado con el agua tiene lugar una rápida evolución de calor debido a la hidratación del cemento e incluso de la escoria. Este periodo se considera como un periodo de pre - inducción, a través del cual el yeso aportado por el cemento portland es el principal activador de la hidratación de la escoria.
- b) Se forman los primeros productos de hidratación, los cuales son de muy baja cristalinidad. El periodo de inducción empieza aproximadamente a las 12 horas de hidratación. Se inicia una acumulación de  $\text{Ca(OH)}_2$  como resultado de la hidrólisis del cemento.
- c) Después de, aproximadamente, las primeras 12 horas de hidratación el proceso se acelera, iniciándose el primer periodo de aceleración, que se prolonga hasta aproximadamente los tres primeros días de hidratación. El  $\text{Ca(OH)}_2$  comienza a ser el principal agente activante de la interacción entre la escoria y el agua. La cantidad de  $\text{Ca(OH)}_2$  en el sistema cae.
- d) Se produce, entonces, una disminución en la velocidad de hidratación de la escoria, hasta que aumenta nuevamente la cantidad de hidróxido cálcico en el sistema.
- e) Cuando la concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  vuelve a aumentar, la hidratación de la escoria se acelera nuevamente, iniciándose el segundo periodo de aceleración más intenso, que se prolonga hasta los 28 días de hidratación. Durante este periodo, los compuestos hidratados resultantes se encuentran junto a las partículas de cemento, mientras que aquéllos formados a partir de la escoria anhidra están depositados en los poros del sistema.
- f) Finalmente, y especialmente cuando los espacios disponibles entre los granos son limitados, la velocidad de hidratación del sistema está controlada por los fenómenos de difusión a través de los productos de hidratación a la interfase de la escoria que aún permanece anhidra (período de difusión final).

Mencionar, únicamente, que el inicio y duración de cada etapa cinética en la interacción de la escoria con el agua, influye no sólo la naturaleza del activador, sino también del tamaño de grano y composición de la mezcla reaccionante.

Considerando investigaciones a nivel mundial y en nuestro país las realizadas por IDIEM, se puede deducir con los estudios que se tienen las adiciones empleadas en nuestro país, como la puzolana y la escoria de alto horno, la potencialidad de un estudio de llevarlas a escala nanométrica se pueden lograr variaciones bastante positivas en las propiedades del cemento, tanto del hormigón fresco como endurecido.

#### 2.4.- Generalidades de Aditivos para Morteros y Hormigones.

Según las normas ASTM (American Society for Testing and Materials), aditivo corresponde a un material, además del cemento, agua y áridos, que se añade al hormigón o mortero, inmediatamente junto al agua de amasado o durante el

mezclado, por cuanto las dosis son bajas y deben distribuirse en toda la masa de hormigón o mortero.

El objeto de añadir aditivos en las mezclas elaboradas con cementos de tipo hidráulicos es el de modificar o acentuar alguna propiedad que de por sí la mezcla no posee, ya sea en estado fresco o endurecido; se aplica en dosis pequeñísimas y su efecto es de índole físico, químico o físico-químico.

Existen diversas características del hormigón que pueden ser modificadas con el uso de aditivos, ya que a medida que la tecnología de la construcción avanza, surgen nuevos aditivos para otorgarle características especiales del material.

En relación a las adiciones que se emplean en el hormigón se han introducido productos en base a nano sílice, con excelentes resultados con un nivel de costos altos aún.

Los aditivos más empleados a nivel mundial y nacional son los aditivos reductores de agua o plastificantes, por cuanto presentan en dosis normales, incrementos interesantes de sus propiedades, además de éste tipo de aditivos se tienen algunos que deben emplearse en condiciones de durabilidad y regular los tiempos de fraguado según las necesidades de obra.

- **Aditivos incorporados de aire:**  
Son aditivos que permiten incorporar durante el amasado una cantidad determinada de microburbujas de aire, uniformemente repartidas, que permanecen después del endurecimiento.

Los aditivos incorporados de aire permiten al hormigón las siguientes cualidades:

- Permite un aumento en la trabajabilidad y/o disminución en el agua amasado.
- Reduce la exudación en el hormigón.
- Incrementa la cohesión interna en la masa del hormigón haciéndolos indispensables cuando se trabaja con hormigones extruidos o moldajes deslizantes.
- Permite reducir el tiempo de vibración y colocación.
- Mejora el aspecto superficial del hormigón.

- **Aditivos Plastificantes**

Aditivo que actúa en forma físico - química, permitiendo la defloculación de los granos de cemento, al adsorber ya sean las moléculas o cargas eléctricas del mismo signo y reduciendo la tensión superficial del agua, permitiendo incrementar la trabajabilidad del hormigón o sin modificar la consistencia, permite reducir la cantidad de agua en él.

Ambas propiedades aportadas al hormigón son positivas por cuanto en el primer caso permiten trabajar hormigones con mayor consistencia sin adición de agua de amasado o al reducir el agua de amasado se logran mayores resistencias mecánicas, mayor impermeabilidad y durabilidad.

- **Aditivos Retardadores de fraguado**  
Son aquellos aditivos, cuya función principal es retrasar el tiempo de fraguado del cemento (inicio y final), su empleo es indicado para traslado de hormigón a grandes distancias, hormigonado con moldaje deslizante y especialmente en hormigonado en grandes masas.

Las aplicaciones principales del retardador de fraguado están en aquellos hormigones que:

- Se coloquen en grandes volúmenes, evita una elevación considerable de la temperatura debido al calor de hidratación.
- Tengan que ser transportados a largas distancias, aumentando el tiempo de puesta en obra del hormigón,
- Las condiciones de colocación sean lentas, debido a encofrados con formas complicados.

- **Aditivos Aceleradores**

Los aditivos acelerantes son aquellos cuya función principal es reducir o adelantar el tiempo de fraguado del cemento.

Las aplicaciones principales de un acelerante de fraguado están en aquellos hormigones que:

- Necesita un desencofrado rápido.
- Hormigones sumergidos o en presencia de agua para evitar el lavado.

Es importante saber, que no se puede considerar a ningún aditivo como sustituto de la buena práctica de hormigonado. Los aditivos se utilizan en casos en que se desea obtener propiedades que sólo son posibles de obtener con estos materiales.

Antes de usar un aditivo se debe tener presente que:

- Todo empleo de hormigón presume un buen hormigón
- Antes de decidir el empleo de un aditivo se debe verificar si es posible obtener la propiedad deseada, mediante la modificación de los componentes del hormigón y las condiciones de la obra.
- Se debe considerar, además de las ventajas, sus inconvenientes, limitaciones, contraindicaciones.
- El efecto que produce el aditivo se debe medir mediante ensayos de laboratorio y resultados de faena (L.N.V., 1997)

## 2.5.- Generalidades de los Polímeros.

En esta unidad se analizarán los Polímeros, por su importancia que tiene como material convencional. Hoy en día se están realizando una serie de estudios con polímeros pero que pertenecen al campo de la nanotecnología, por ejemplo, energía solar y nanotecnología, alfombras con nanotubos de carbono, entre otros.

Los polímeros son macromoléculas naturales o sintéticas, formadas por la unión de una gran cantidad de pequeñas moléculas llamadas monómeros. Por su parte, un monómero es una molécula de pequeña masa molecular, que está unida a otros monómeros, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, formando macromoléculas llamadas Polímeros. (Enciclopedia Wikipedia).

La estructura molecular de un polímero puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Los compuestos de origen sintético, llamados plásticos, son polímeros; han afectado nuestro modo de vida de diversas formas, se utilizan como materiales de estructuras, como fibras y como películas aislantes, entre otros.

La cantidad de material polimérico comercializado por la industria química, sobrepasa por mucho, al conjunto de todos los demás productos orgánicos sintéticos (Pino, 1987).

Durante años, los plásticos han sido considerados materiales aislantes, es decir, sustancias incapaces de conducir la corriente eléctrica; sin embargo, esta visión se modificó en la década de los setenta, cuando se descubrió que, bajo ciertas circunstancias, se comportan como metales y son capaces de conducir la electricidad.

A raíz de ello, los materiales recibieron el nombre de “Polímeros Conductoras”.

La Real Academia Sueca de Ciencias otorgó el premio nobel en Química del año 2000, al profesor Alan J. Heeger (Universidad de California, EVA.), al profesor Alan G. MacDiarmid (Universidad de Pensilvania, EVA) y al profesor Hideki Shirakawa (Universidad de Tsukuba, Japón) por el descubrimiento y desarrollo de los polímeros conductores.

Los polímeros conductores poseen las propiedades de un metal y de un plástico, transformándose en materiales de un uso inimaginable para la industria. En general, podemos decir que con la “revolución del plástico”, la sociedad y específicamente el sector de la construcción, sufrió un cambio excepcional con la entrada de polímeros sintéticos. Hoy en día nos podemos beneficiar de múltiples y diferentes aplicaciones en la construcción, equipamiento de una vivienda y resto de obras públicas.

Algunas características generales de los polímeros son los siguientes:

Durables y resistentes	A la corrosión, por ellos se aplican en elementos que están expuestos al aire libre, pudiendo durar décadas.
Aislantes	Tanto de frío como de calor, lo cual permite el ahorro de energía, también como aislantes acústicos.
Muy ligeros	Frente a los materiales usados normalmente en la construcción, siendo así manejables y fáciles de transportar y almacenar.
Costo y beneficio	Tiene buena relación costo / beneficio.
Medio ambiente	La mayoría, a excepción del PVC, son respetuosos con el medio ambiente, se pueden reciclar, reutilizar o transformar en una fuente de energía.

Estas son las características más generales, pero, no hay que olvidar que cada uno posee propiedades particulares, que hacen que sean más adecuados para unas aplicaciones que para otras. Por ejemplo, el Polipropileno, que es una fibra sintética obtenida por la polimerización del propileno, tiene múltiples aplicaciones: artículos de consumo (botellas, vasos, etc.), productos higiénicos, productos médicos, entre otros. Sin embargo, diversos tipos de fibras de polipropileno se utilizan como refuerzos con hormigones, morteros, solas o en combinación con otros tipos de fibra (acero, celulosa, etc.). Su utilización se extiende también a la fabricación de materiales compuestos, en las que la matriz es el propileno. Entre sus propiedades podemos señalar:

- Baja densidad
- Buena tenacidad
- Excelente resistencia química.
- Carácter antibacteriano
- Bajo costo
- Alta resistencia mecánica, entre otros.

La producción comercial del polipropileno comenzó en 1957 y hoy es el segundo plástico sintético más utilizado en todo el mundo, por detrás el polietileno, con un mercado global de más de 60 millones de toneladas anuales.

Dentro de las desventajas y limitaciones del polipropileno más importante tenemos:

- Se degrada por la radiación ultravioleta.
- Se degrada en contacto con hidrocarburos clorados, alifáticos y aromáticos.
- Es inflamable, aunque se puede fabricar con aditivos retardantes.
- A temperaturas muy bajas, la resistencia a impactos disminuye considerablemente.



Existe una gran variedad de polímeros usados en la construcción, pero los más utilizados son el polímero policloruro de vinilo (PVC), el polímero EPS, el polímero poliuretano (PU) y el polímero polietileno (PE), polímero policarbonato (PC).

Más del 50% de las plásticas utilizados en la construcción se reducen únicamente a PVC, de ahí la gran importancia de este polímero.

En el siguiente cuadro se resumen algunos de los polímeros, explicando sus características y sus aplicaciones en este sector:

**Tabla N°2:** Formato Excel

<b>Polímero</b>	<b>Características Fundamentales</b>	<b>Aplicaciones</b>
PVC	Versatilidad, resistencia a la intemperie, alta tenacidad, fácil instalación, resistencia a la abrasión, al impacto y a la corrosión, buen aislante térmico, eléctrico y acústico, No propaga llamas.	Membranas para impermeabilizar suelos, uso en cañerías tanto de domicilios como públicas. Electricidad, recubrimiento aislante de cables, cajas de distribución, enchufes. Recubrimiento de paredes, techos, piscinas. Alfombras, cortinas, tapizados, ventanas, puertas, mangueras.
PU	Resistente a la corrosión, flexibilidad, No tóxico, alta resistencia a la temperatura, propiedades mecánicas y productos químicos.	Su uso en construcción se basa como materiales de aislamiento, en techos, cañerías.
EPS Y PS	Baja conductividad térmica, gran capacidad aislante, resistencia a la compresión, alto poder de amortiguación, fácil de trabajar y manipular, estabilidad a bajas temperaturas y soporta también altas temperaturas (cañerías de agua fría y caliente).	Se basa fundamentalmente en aislamientos sobre todo térmicos, en cañerías, suelos flotantes, ladrillos, techos, paredes y suelos en hormigón liviano. Construcción prefabricada, sistemas de calefacción, cámaras frigoríficas. Espuma EPS se utiliza como relleno de vacío, por ejemplo en puentes, reduciendo peso.
PC	Inerte, alta resistencia a la temperatura, propiedades mecánicas y productos químicos	Se utilizan como vidrios de seguridad, como vallas y cercos de seguridad transparentes.

**Fuente:** [https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP\\_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-82008/TAB42351/aplconstruccion.htm](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-82008/TAB42351/aplconstruccion.htm)

En la química sintética se trabaja desde hace tiempo a escala nanométrica, sólo que actualmente se hace de forma muchísima más estructurada que en el pasado.

En los últimos años existe un gran interés hacia los compuestos de hormigón polímero, debido a su gran variedad de aplicaciones, al desarrollo ecológico y al ahorro de energía en fabricación.

El hormigón polimérico o polímero se fabrica sustituyendo una parte o todo el cemento del hormigón convencional con polímeros, tal como resinas de poliéster insaturado y epoxi, para mejorar el comportamiento físico o mecánico; además en su mezcla intervienen agregados, tales como: arena, grava, polvos de sílica, cuarzo, granito, cristales, generalmente cualquier material seco, sólido y no absorbente se puede utilizar como agente desplazador de volumen; también se usan productos químicos como catalizadores, acelerantes, retardantes, pigmentos. En ocasiones, según el uso final, se incluyen diferentes fibras como refuerzo (vidrio).

En relación con las resinas de poliéster insaturado y epoxi son utilizados en una amplia gama de aplicaciones, en las que actúa como matriz o material base. Una resina epoxi es un polímero termo estable, que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor.

Las características de un Hormigón Polimérico son:

- El Hormigón polímero es un material con excelentes características tanto mecánicas como de comportamiento hidráulico.
- Excelentes resistencias mecánicas que facilita la producción de elementos ligeros en dimensiones reducidas.
- Gran resistencia a los agentes corrosivos.
- La absorción del agua en el material es prácticamente nula, menos de 0,5%.
- Resiste muy bien los ciclos hielo-deshielo, durante el proceso de fraguado del hormigón.
- A medida que el cemento endurece, forma espacios pequeños entre las partículas agregadas. Estos espacios son los que permiten que el agua penetra, y dañan en condiciones de congelamiento. Sin embargo, las partículas del polímero se unen para llenar los espacios vacíos. Esta es la razón por la cual el hormigón polímero es menos permeable y está mejor protegido contra los ataques de los ciclos hielo-deshielo.
- Tiene muy buena resistencia química. Resiste muy bien los ataques de los rayos ultravioletas (UV).
- La superficie del hormigón polímero no es porosa, por lo tanto, no permite residuos alimenticios, evitando así el riesgo de fermentación y desarrollo bacteriano.
- Durante la ejecución de la obra, las técnicas de la instalación se convierten en algo muy importante. La superficie base del hormigón, debe escarificarse para eliminar la lechada superficial, debe estar absolutamente limpia antes de aplicar el hormigón polímero, no debe tener compuestos, aceite o suciedades de ningún tipo, ya que sólo así se garantiza su adherencia.

CE Chile es una empresa chilena que fabrica hormigón polímero; su material destaca por una resistencia mecánica excepcional, que permite la producción de elementos ligeros y de dimensiones reducidas. Es un material de alta calidad, cuyas

propiedades le confieren destacables ventajas como: gran durabilidad, impermeabilidad, alta resistencia al calor, ajustabilidad en obra y posibilidad de realizar acabados especiales.

### **CAPITULO III: APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGIA EN LA CONSTRUCCION**

#### **3.0.- Morteros y Hormigones a Escala Nanómetro**

La adición de nano partículas a la pasta de cemento tiene la potencialidad de mejorar las propiedades de los materiales cementicos, ya sean éstos morteros, hormigones.

Estas nanopartículas en las proporciones adecuadas, añade a la matriz cementica importantes propiedades específicas, de acuerdo al tipo y a las propiedades de las nano partículas utilizadas.

El nano hormigón es un hormigón hecho con partículas de cemento portland, que son menos de 50  $\mu\text{m}$  como un agente de cementación.

El hormigón tradicional se puede convertir en un nano-hormigón por los siguientes procedimientos:

- A. Adición de nano partículas al cemento.
- B. Reducción de las nano partículas de cemento a nano polvo de cemento.
- C. Hidratación del silicato Cálcico Hidratado (C-S-M).
- D. Incorporación de nano refuerzos: Nano tubos y Nano Fibras.

#### **A.- Adición de Nano partículas al Cemento.**

Las nano partículas que más se han investigado hasta el momento en relación con los materiales cementicos son:

Nano sílice	(n-siO <sub>2</sub> )
Nano óxido de Titanio	(n.tiO <sub>2</sub> )
Nano óxido Férrico	(n. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Nano óxido de aluminio (aluminio)	(n. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
Nano partículas de arcilla	

La adición de estos nano materiales al cemento, influye muy notablemente en su proceso de hidratación, a todas las escalas: nano, micro y macro, de los compuestos químicos que se generan, modificando su estructura; esta influencia incluye la nano y micro estructura del silicato cálcico hidratado, (C-S-M) gel que tiene un efecto muy notable en la resistencia del hormigón a macro escala.

Por tanto, podemos señalar, la adición al cemento de nanopartículas, mejora sustancialmente la micro estructura de la pasta de cemento y, por tanto, sus

propiedades; este efecto se consigue añadiendo nanosílice ( $\text{SiO}_2$ ), óxidos de titanio ( $\text{TiO}_2$ ), nano celulosa, nanotubos de carbono.

La adición de estas nanopartículas incrementada la cantidad de C-S-M de alta y baja densidad haciendo los compuestos cementicos, más resistentes mecánicamente y más resistentes también a los ataques químicos que disuelven la cal de la pasta de cemento.

La adición de fibras cortas y discontinuas tiene la capacidad de mejorar muchas de las propiedades de los compuestos cementicos y de modificar su comportamiento cuando son sometidos a esfuerzos exteriores.

En general, estas nano partículas presentan las siguientes características en el cemento.

- Rellenan los huecos entre los granos de cemento y los áridos.
- Actúan como núcleos activos que incrementan la hidratación del cemento, por la gran reactividad con el aumento de su superficie específica.
- Mejoran sus propiedades resistentes.
- Reducen su porosidad y la retracción del hormigón, que causa su fisuración, así como su posible degradación.
- Incrementa la resistencia a compresión.
- Incrementa también la cantidad de (C-S-M) gel de alta densidad, presente en la pasta del cemento.
- Disminuye las cantidades de hidróxido cálcico  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y la cantidad de (C-S-M) gel de menor densidad.
- La presencia en el hormigón de mayores cantidades de (C-S-M) gel de muy alta densidad, incrementa la resistencia a la disolución del carbonato cálcico de la matriz del hormigón.

Al observar las propiedades de los hormigones nano tecnológicos, según el tipo de nano partículas añadida. El tamaño de las nano partículas utilizadas es menor de  $100\ \mu\text{m}$ ; las de menor tamaño utilizadas en los materiales cementicos tiene  $15\ \text{nm}$ .

**Tabla N°3:** Formato Excel

<b>Nano Partículas</b>	<b>Propiedades de los hormigones nanotecnológicos</b>
Nano Sílice: Si <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Aumento de la compresión en edades tempranas del 20% a 7 días y 26% a 28 días. Mayor actividad puzolánica. Evita el crecimiento de cristales grandes, por lo tanto, mejora la impermeabilidad al crear una matriz más densa. Incremento de la velocidad de fraguado, rellena los huecos de la estructura del (C-S-M) y disminuye más homogéneamente los productos hidratados.
Nano Oxido de Titanio (TiO <sub>2</sub> )	Se usa principalmente para la mejora de la superficie (pavimentos). Mejora la resistencia a la abrasión y la Compresión. Capacidad de auto limpieza. Acelera la hidratación a edad temprana del cemento.
Nano Oxido Férrico: (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Autocontrol de la tensión o compresión soportada. Mejora la resistencia en un 20% a la compresión y a la flexión. Estructuras inteligentes.
Nano Oxido de Aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	No hay cambios en la resistencia a compresión pero aumenta su módulo elástico en más de un 140% a los 28 días.
Arcilla Procesada	Incremento muy importante de las resistencias a compresión y a tracción de los morteros de cemento. Hormigones más impermeables. Resistencia a los cloruros. Hormigones autocompactantes. Reducción de la retracción. Incremento de la resistencia

**Fuente:** <http://nuevatecnologiasmateriales.com/aplicaciones-de-la-nanotecnologia-a-la-industria-de-la-construccion/>

**B.- Reducción de las partículas de cemento a nano polvo de cemento.**

Hay dos procedimientos para reducir las partículas de cemento a nano polvo:

- B1 Conminución de alta energía del Clinker de cemento portland.
- B2 Síntesis química.

Se debe entender por conminución, un término que indica la reducción de tamaño de un material y que puede ser aplicado sin importar el mecanismo de fractura involucrado.

#### C.- **Hibridación del Silicato Cálcico Hidratado (C-S-M)**

Se entiende por hibridación, es la mezcla de orbitales atómicos, para formar nuevos orbitales apropiados para crear enlaces. (Enciclopedia Wikipedia).

De acuerdo a lo anterior, el proceso de hibridación, modifica la estructura del silicato cálcico hidratado (C-S-M) del cemento por dos procesos diferentes:

- C1. Insertando nano moléculas orgánicas en la estructura del (C-S-M) gel.
- C2. Insertando “nano moléculas invitadas” para establecer enlaces covalentes con la estructura del (C-S-M) gel.

#### D.- **Incorporación de nano refuerzos: Nonotubos y Nonofibras**

Los hormigones nonotecnológicos se fabrican también incorporando nanotubos o nanofibras de carbono (CNTS, CNFS).

Los nanotubos son estructuras tubulares (cilíndricas), cuyo diámetro es del tamaño de un nanómetro. Existen nanotubos de muchos materiales, tales como silicio, pero generalmente, el término se aplica a los nanotubos de carbono (Enciclopedia Wikipedia).

Las “nanotubos de carbono”, uno de los múltiples materiales creados por la nanotecnología, son el material más fuerte conocido por el hombre: mientras un cable de acero de alta resistencia de 056 mm de espesor puede soportar un peso de unos 102 kg., un cable de nanotubos del mismo grosor puede soportar un peso de hasta 153 toneladas.

Se considera 100 veces más fuertes y resistentes que el acero. Además, conducen la electricidad mejor que el cobre y son buenos conductores del calor. Actualmente, todos los estudios de nanotecnología se enfocan en estos nanotubos.

Dentro de los nanotubos, tenemos los de pared simple, conformado por una pared (SWNT), tienen un diámetro de cerca de 1  $\mu\text{m}$ , y las de pared múltiple (MWNT), confirmados por varias capas laminadas (tubos concéntricos).

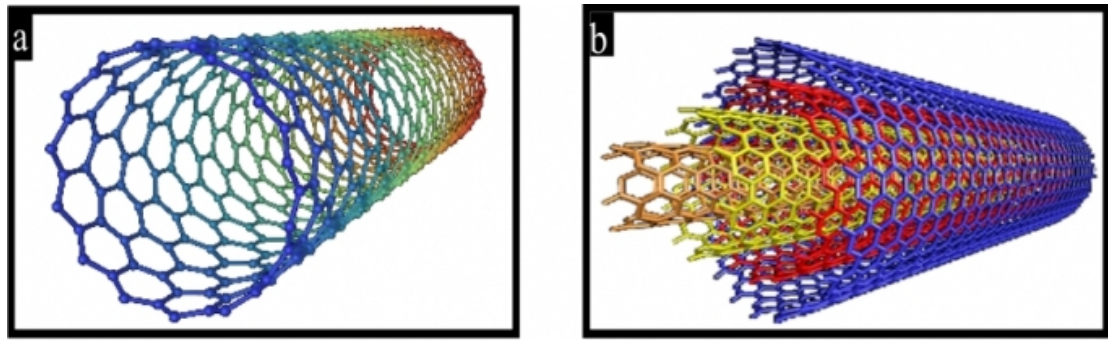


Figura 1. Esquema de nanotubos de carbono de pared simple (a) y de paredes múltiples (b).

### Esquema nano tubos de carbono pared simple y múltiple N° 01

Fuente: <http://www.nanotubo.com.ar/nanotubos-de-carbono.php>

Con la adición de MWNT al hormigón, se pueden fabricar hormigones más resistentes al fuego ( $600^{\circ}$ ), de una mayor estabilidad térmica, menor porosidad y de una mayor durabilidad.

Los nanotubos de carbono, de pared múltiple (MWNT), a pesar de sus importantes potencialidades, por su muy elevada resistencia a tracción y elevado módulo de elasticidad, entre otras propiedades, se ve dificultada en el momento presente, por su elevado precio de fabricación y de aplicación, en la mejora de las propiedades de los materiales cementicios.

Por otra parte, tenemos la nanofibra, es una fibrapolimérica, con un diámetro inferior a  $50 \mu\text{m}$ , se obtiene a partir de técnicas especiales que permiten obtener esas fibras ultrafinas, de propiedades muy particulares y de muy diversos usos.

Las nanofibras de carbono son un tipo de material sintético de carbono nanoestructurado; constituido por fibras sintéticas, que están conformadas por finos filamentos, compuestos principalmente por carbono, cada fibra de carbono es la unión de miles de filamentos.

Las nanofibras de carbono, proporcionan a los compuestos cementicios mayores propiedades mecánicas a largo plazo, mayor durabilidad, una mayor resistencia a la fatiga, a la flexión y una mayor resistencia a la fracturación.

La adición de nanofibras de carbono al cemento produce efectos similares a los nanotubos, aunque de menor relevancia como refuerzo de las matrices cementicias; sin embargo, son de más fácil aplicación por su buena dispersión, con un costo menor.

Por otra parte, tenemos que la adición de nanotubos y de nanofibras de carbono, convierten los compuestos cementicios en materiales “inteligentes” capaces de realizar un autocontrol en tiempo real del estado tensional y deformacional de los

hormigones sometidos a cargas estáticas, dinámicas y de impacto; este auto chequeo permite realizar una evaluación de daños en las estructuras, para así diseñar procedimientos de refuerzo y protección en caso necesario. (Laureano Cornejo, 2016).

### 3.1.- **Nanotecnología en morteros de reparación estructural.**

Master Builders Solutions, BASF empresa alemana, que tiene presencia en España desde hace casi 15 años. Por su parte, BASF Chile, filial de la compañía química alemana BASF SE, comenzó sus operaciones en Chile en 1910 con la representación de la empresa para la costa del Pacífico, y suministrando a Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia desde su oficina de Santiago. En 1969, la compañía adquirió las instalaciones que sirvieron de base para su planta de producción actual ubicada en Concón.

La empresa cuenta con plantas de producción en Santiago, Concón y Puerto Montt. En 1988, la firma adoptó su actual nombre BASF Chile S.A., la Empresa tiene su sede en Santiago, y su cartera de productos químicos básicos e intermedios, están dirigidos a las industrias de agricultura, construcción, textil, plásticos, minería y farmacéutica, entre otras.

En la industria de la construcción, BASF destaca por su nanotecnología aplicada a morteros de reparación estructural y no estructural.

Los refuerzos estructurales persiguen como objetivo último, aumentar la capacidad estructural del elemento a reforzar. Estos refuerzos estructurales pueden ser realizados mediante el uso de diferentes tecnologías, como es la fibra de carbono, los morteros y hormigones, o el acero estructural.

Master Builders Solutions representa una experiencia de más de 100 años en el sector de la construcción, mediante la creación de soluciones químicas para obra nueva, mantenimiento, reparación y renovación de estructuras.

En el uso de las nanotecnologías, BASF presenta diferentes tipos de morteros de reparación estructural, dentro de los cuales podemos señalar:



**Tabla N°4: Formato tabla Excel tipos de Morteros nanotecnologicos**

Master Emaco S 5300	<b>Mortero ligero, modificado con polímeros y reforzado con fibras para reparación estructural del hormigón.</b>
	Se emplea en reparaciones estructurales de elementos de hormigón como:
	- Cantos de balcones y techos.
	- Aparcamientos de varias plantas
	- Marcos de ventanas, dinteles y vigas de edificios comerciales y residenciales.
	- Fachadas de edificios.
	- Paneles prefabricados o cualquier estructural de hormigón que deba ser reperfilado a mano.
Master Emaco S 500	- Aplicables en interiores, exteriores, en vertical, en horizontal, en techos.
	- Aplicables en ambientes secos y húmedos.
	<b>Mortero tixotrópico resistente a sulfatos para reparación estructural, de muy alta resistencia, reforzado con fibras y retracción compensada.</b>
	Se emplea en reparaciones estructurales de elementos de hormigón armado como:
	- Columnas, estribos y vigas de puente.
	- Torres de refrigeración, chimeneas y estructuras de otros ambientes industriales.
	- Túneles, tuberías y construcciones enterradas especialmente en condiciones agresivas.
Master Emaco S 5440 RS	- Estructuras marinas.
	- Plantas depuradoras de agua.
	<b>Mortero de rápido endurecimiento, altas resistencias, reforzado con fibras poliméricas y con inhibidor de corrosión. Una vez mezclado con agua, se convierte en un mortero tixotrópico, de altas resistencias para aplicación manual o proyectada (con equipos adecuados).</b>
	<b>Mortero de fraguado rápido para aplicaciones entre 0,5 y 10 mm en nivelación superficial de superficies de hormigón.</b>
	Dentro de la nanotecnología en morteros de reparación no estructural podemos señalar a:
	Se emplea en reparaciones de capa fina, no estructurales de elementos de hormigón como:
	- Esquinas de balcones
- Fachadas de edificios	
- Muros	
- Paneles prefabricados	
- Esquinas de vigas	
- Master Emaco N 5100 FC es ideal para acabado fino y nivelaciones no estructurales, donde se precisan periodos de fraguado o rapidez del endurecimiento del recubrimiento.	
- Puede ser recubierto tras sólo 4 horas a 20°C. Otras aplicaciones son:	
- Aplicable en interiores y exteriores	
- Aplicable en vertical y techos.	
- Aplicable en ambientes secos y húmedos.	

**Fuente: Tabla personal Excel <https://www.master-builders-solutions.basf.cl/es-cl/products/masteremaco>**

### 3.2. Nanotecnología en la Construcción de túneles y obras mineras.

La construcción de túneles a nivel mundial, se han visto grandes avances en los métodos, tecnologías y materiales en las últimas décadas. Chile no ha estado exento de este desarrollo; como consecuencia de estos adelantos se han construido soluciones que en otro tiempo se hubiesen considerado imposible.

Laureano Cornejo Álvarez, uno de los más grandes especialistas en la construcción de túneles en Europa, plantea que, sin lugar a dudas, la evolución tecnológica de la industria ha sido continua, desde que en 1861 comenzó la utilización de las perforadoras de aire comprimido, hasta el empleo de tuneladoras doble escudo, capaz de trabajar como topo en los años 2000.

Hoy tenemos nuevos avances que permiten la colocación de revestimiento con dovelas prefabricadas en la medida que avanza el túnel. La dovela es un elemento

constructivo que conforma un arco y que puede ser de diferentes, materiales, actualmente se elaboran en hormigón (concreto) armado o pretensado.

Sin lugar a duda, en esta evolución de la construcción de túneles, han contribuido notablemente los avances en la industria del hormigón; en los que destacan la incorporación de fibras estructurales, y el desarrollo de cables de fibra resistentes a la corrosión y la incorporación de las nanotecnologías.

Solo para establecer la evolución de la construcción de túneles en Chile, basta con comparar la construcción de la línea uno del metro de Santiago a trinchera, con todos los impactos que ella provocó en la ciudad; con la construcción actual de la línea tres y seis del metro, apenas perceptible.

En el área de la minería, con túneles mecanizados a base de “TBM o túneles de roca, Chile fue uno de los primeros en aplicar en el túnel sur de Los Bronces, de Anglo American, una tuneladora de doble escudo, que permite colocar soportes como un topo abierto o colocar anillos de dovelas:

En Chuquicamata, se está proyectando en el uso de máquinas tuneladoras de última generación, la MTM4, que permitirá aumentar la velocidad de excavación. Esta nueva tecnología, elimina el uso de explosivos y permite generar túneles de alta calidad, producto de la precisión del corte en la roca, mejorando las condiciones de seguridad de los trabajadores, que es el gran desafío pendiente en materia de túneles. (Miguel Mellado, Director Escuela de Obras Civiles y Construcción Universidad Central de Chile, 2016).

### 3.3. **Nanotecnología en la Fabricación del Acero**

#### 3.3.1. **Generalidades respecto al acero**

El acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0,005% hasta menos de un 2%) algunas veces, otros elementos de aleación, tales como: el Cr. (cromo) o Ni (Níquel), se agregan con propósitos determinados.

Ya que el acero es básicamente hierro, altamente refinado (más de un 98%), su fabricación comienza con separar las impurezas del resto del material, una vez separadas las impurezas, el resto será hierro casi puro, con una pequeña cantidad de carbono. A esto se le denomina arrabio.

Arrabio será el acero que tendremos en estado líquido, para pasar al siguiente proceso que es moldearlo.

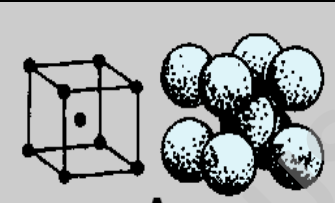
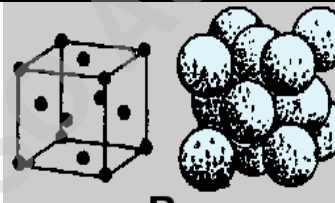

Los desechos se llaman escoria de alto horno y se suelen recoger para utilizarlas como grava en vías ferroviarias y como fertilizante.

### 3.3.2 Acero a escala Nanométrica

En la actualidad ya se está fabricando el llamado **acero nano estructurado**, empleando una nueva tecnología de fabricación, que manipula a nanoescala su estructura, a nivel de átomos y moléculas, durante el complejo proceso de fabricación.

Para entender mejor el proceso del acero nanoestructurado, vamos a referirnos previamente a la **crystalización de los metales**.

- La particularidad fundamental de la constitución de los metales es la distribución organizada de sus átomos, característica de todos los **cuerpos cristalinos**.
- La estructura cristalina es la causa a la cual deben los metales una serie de sus propiedades, ausentes en los cuerpos amorfos.
- En un metal siempre se puede destacar un conjunto mínimo de átomos, denominado **crystal elemental**, cuya distribución en el espacio es semejante y se repite reiteradas veces. El enlace de tales conjuntos de átomos, forman la **red cristalina o crystal**, constituida por cristales elementales.
- La mayoría de los metales tienen cristales elementales como: cúbico espacial centrado (figura A), cúbico centrado en las caras (figura B) y hexagonal compacto (figura C)

		
<b>CRISTAL CUBICO ESPACIAL CENTRADO</b>	<b>CRISTAL CENTRADO EN LAS CARAS</b>	<b>CRISTAL HEXAGONAL COMPACTO</b>

Esquema tipos de estructuras químicas del acero N°02.

Fuente: <http://www.sabelotodo.org/metalurgia/cristalmetal.html>

Ahora bien, la nueva tecnología de fabricación del acero nanoestructurado, consiste en conseguir una reducción de tamaño y una mayor uniformidad de los microcristales que se forman, eliminando o reduciendo los defectos en los cristales (de tamaño 100 – 200µm). Si se produce alguna microfisura o discontinuidad durante la fabricación, ésta será finísima en anchura y de longitud muy pequeña, abarcando una menor extensión dentro de la masa del acero.

La modificación de la microestructura se produce por la adición de nanopartículas autoensamblantes (ej. Nanopartículas de cobre) en los bordes de los granos de acero, con el fin de dotarlo de nuevas propiedades para ser usadas a nivel macro.

Otra técnica para modificar la estructura del acero a nivel nanómetro, es a través de los estudios realizadas por el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) de España. Dicho centro publicó en la revista “Scientific Reports”, las nuevas propiedades mecánicas de aceros nanoestructurados de alta resistencia.

De acuerdo a estos resultados, en la actualidad, enero 2016, existe una nueva generación de aceros con una resistencia y tenacidad sin comparación.

Estas propiedades se alcanzan a temperaturas de entre 200 y 300 grados centígrados durante unas horas. Durante el proceso, la estructura atómica del acero forma **cristales de ferrita barítica**, de unos pocos nanómetros de espesor, separados a su vez de láminas delgadas de **austenita** retenida. Es la escala nanométrica de estos tipos de cristales la que confiere a estos aceros sus excelentes propiedades.

La clave de estas propiedades, indica el estudio, radica en que las propiedades mecánicas de los nanocristales de ferrita barítica y de austenita son muy similares entre sí, lo que les da una gran homogeneidad cuando se juntan ambos materiales, dando así origen a nuevos aceros de ultra – alta resistencia.

Estos aceros destacan por las siguientes propiedades:

- Presentan una combinación sin precedentes de resistencia, tenacidad y ductilidad.
- Mayor resistencia al frío y al calor.
- Resistencia a tracción.
- Resistencia a la comisión y la fatiga.
- Mayor resistencia al impacto.

Los aceros de alta resistencia, bajo en carbono, se utilizan para la construcción de edificios, que incorporan nanopartículas de cobre.

La tecnología de fabricación del acero nanoestructurado, está en constante evolución y perfeccionamiento, con la utilización de nuevas aleaciones de nanopartículas metálicas diversas. Por otra parte, los aceros nanoestructurados permiten reducir la cuantía de acero en vigas y pilares, del orden del 15% por metro de perfil o barra. Es más ecológico y eficiente por su mayor resistencia a la corrosión y mayor ductilidad y tenacidad.

En Chile, los estudios de acero nanoestructurados están en un nivel muy básico, pero la planta de Huachipato fabrica barras de hormigón (MMFX), de alta resistencia a la corrosión y mejores propiedades mecánicas que las barras tradicionales.

Adicionalmente, estas barras tienen una resistencia mecánica hasta 60% superior y resistencia a la corrosión 5 veces mayor a la barra convencional, es como la del tipo A 630, lo que extiende la vida útil y reduce el costo de mantenimiento en el ciclo de vida de la infraestructura.

Este producto se comercializa en Norteamérica, bajo la norma ASTM A 1035, la cual tiene su paralelo a la norma chilena NCh 3329 del Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN).

En Chile cerca del 80% del consumo de acero es para el sector de la construcción y la minería, en los últimos años, se registra un incremento del uso del acero en construcciones habitacionales y oficinas (ICHA, Instituto Chileno del Acero, 2016).

#### 3.4.- **Nanotecnología y Pinturas Convencionales**

Actualmente, las investigaciones nanotecnológicas están creando una nueva generación de pinturas con cualidades especiales, como es, pinturas con superficies antihumedad, antisuciedad o antibacterias. Esto es posible gracias a las nanopartículas que se mezclan con las pinturas y le confieren propiedades especiales. Por ejemplo, con la pintura antibacterias se ayuda a mejorar la higiene en hospitales, baños públicos, entre otros.

La utilización de nanopartículas como aditivos, tiene un gran potencial en el desarrollo tecnológico de las pinturas y barnices, ya que estos aditivos aplicados en pequeñas proporciones ayudan a mejorar de una manera significativa las propiedades finales de estos productos.

La adición de partículas de ZnO mejora significativamente el comportamiento frente a la radiación ultravioleta del recubrimiento, mientras que la adición de alúmina ( $Al_2O_3$ ) y sílice ( $SiO_2$ ) mejora el comportamiento frente a los rayados.

Por otra parte, las pinturas con propiedades de autolimpieza y protección anti grafiti, ecológicas sin disolventes, tienen la propiedad de secar en unos 3 segundos aproximadamente, y resultan ser mucho más económicas que las pinturas convencionales.

Nanotec Chile fue premiada como mejor empresa en Innovación 2016, por el Diario Financiero. Esta empresa desarrolló pinturas con nanotecnología de cobre, capaz de eliminar hasta el 99% de microorganismos patógenas, responsables de las principales infecciones intrahospitalarias, como el *Aspergillus niger*, entre otros.

Dentro del mercado chileno, las empresas Plasticopper y Copper3D desarrollaron el nano revestimiento con estructura 3D, especiales para aplicaciones industriales y diseñados para mejorar considerablemente la resistencia a la corrosión, a la abrasión y para evitar que las pinturas se degraden.

Este tipo de revestimiento es el único recubrimiento industrial en el mercado mundial, capaz de restaurar, mejorar y conservar las superficies recién pintadas, usualmente degradadas y oxidadas, alargando su vida útil por al menos diez años.

El revestimiento nano estructural 3D penetra profundamente en los poros más pequeños de las pinturas, realzando el color degradado, mejorando el brillo,

aumentando la dureza de la superficie. Además, protege la pintura tratada de rasguños, abrasión, corrosión y productos químicos.

La Nasa en colaboración con la Universidad de Nebraska y la compañía chilena Copper 3D, han iniciado un estudio para determinar el potencial de un nuevo material antibacterial para impresión 3D, que podría sentar las bases para resolver los problemas de salud tanto en la tierra como en el espacio.

Un producto de la nanotecnología, que puede considerarse un salto tecnológico, es la Pintura Nansulate, de origen español, pintura aislante térmica, es una solución de alta tecnología, que puede ser usada en la construcción, para mejorar el aislamiento de los espacios tanto en climas fríos como cálidos.

Esta pintura está desarrollada mediante el uso de nanopartículas; es un revestimiento anticorrosivo de grado industrial, que contiene “Hydro-NM-Oxide”, un producto de la nanotecnología, documentado como el mejor material aislante en el planeta, con una conductividad térmica de 0,018 (W/mm) a 25°C. (Fuente: Nasa Jet Propulsion Laboratory en el California Institute of Technology).

La propiedad más importante de un material aislante es su conductividad térmica, ya que es lo que lo define como aislante. Para que una conductividad térmica sea efectiva debe tener una conductividad extremadamente baja, ya que el espesor con el que se trabaja normalmente que puede ser 1 o 2 manos de pintura, será del orden de 1 – 2 mm.

A diferencia de otros revestimientos, Nansulate no pierde su valor de aislación debido a la humedad y al polvo.

En esta pintura térmica, hay una pintura base a la cual se le agregan una abundante cantidad de micro esferas de cerámica que están huecas (capsulas de aire), suficientes para crear una capa aislante que bloquea la pérdida o ganancia de calor o frío, manteniendo así una temperatura interior constante y confortable.

Los recubrimientos Nansulate se basan en una tecnología que ha sido galardonada y patentada, ofreciendo una combinación altamente efectiva de beneficios, que incluyen el aislamiento térmico, lo que resulta un ahorro de energía a los clientes, resistentes a la corrosión, al moho, a la humedad, a los rayos UV y al fuego.

Esta tecnología, que se vende sólo bajo el nombre de Nansulate, ha estado disponible desde 2004 en EE.UU. y ha proporcionado ahorro de energía para los clientes industriales, comerciales, residenciales y gubernamentales en todo el mundo. (Catálogo Nansulate, 2014).

En materia de nanotecnología, cabe destacar un avance sin precedentes en cuestión de pinturas, tal es “el efecto Lotus”, uno de los mayores logros de esta nanociencia y su uso se ha extendido a través del mundo. Dicho efecto resulta de una manipulación superficial a escala nano, de modo que forma una superficie repelente a la suciedad.

La pintura se aplica con una capa extremadamente fina, otorgando la hidrofobicidad de la hoja de Lotus, explica el doctor en Química sostenible, Julian Restrepo, doctor de la Universidad Jaume en España.

Actualmente existe en el mercado una amplia variedad de polímeros con propiedades a escala nano; de acuerdo a las propiedades que desee adicionarse a un recubrimiento, se seleccionará el material más adecuado; entre ellos los más destacados son:

**Tabla N°5:** Formato personal Excel

Compuesto	Características
Cloruro de plata con dióxido de titanio	Permite formular pinturas antibacteriales e higiénicas para restaurantes, hoteles y hospitales
Óxidos de hierro sintéticos	Absorben la radiación UV y son transparentes, por lo que son usados para la protección de maderas.
Sulfuro de Zinc	Es resistente al impacto.
Dióxido de Silicio	Mejora la resistencia al rayado y aporta dureza a la películas.
Oxido de Cobre	Agrega efecto microbiano a las pinturas.
Oxido de Indio, Antimonio y Estaño	Absorben la radiación infrarroja y tienen efecto antiestático.
Óxido de Zinc	Mejora la estabilidad a los rayos UV y resiste ataques microbianos.
Oxido de Aluminio	Mejora las propiedades mecánicas del recubrimiento

**Fuente:** <https://www.inpralatina.com/201111142260/articulos/pinturas-y-recubrimientos/nanotecnologia-en-pinturas-una-realidad.html>

En síntesis se puede señalar, que en materia de pinturas, el avance de la nanotecnología es impensable. En los próximos años la pintura de los edificios no se limitará a decorar, sino que también generará ahorros de energía, absorberá la contaminación ambiental e impedirá la acumulación de suciedad.

Algunos centros de investigación europeos y norteamericanos trabajan para lograr que una simple capa de pintura genere energía eléctrica, con lo que se podrá llegar a conseguir edificios energéticamente autónomos. Por ahora, la clave está en las nanoestructuras de óxido de titanio con colorante.

### 3.5.- Nanotecnología y Productos Inteligentes

Grandes empresas españolas como Renfe, la Caixa, Repsol, están recurriendo a la nanotecnología para mejorar sus productos y servicios, no han escatimado en destinar importantes recursos a su investigación. Existen proyectos de estudio que están puesto en marcha en relación a:

a) Nanotecnología y Limpieza de fachadas:

Estas empresas han elaborado un proyecto a través de nano partículas de óxidos metálicos, los cuales pueden limpiar automáticamente fachadas y cualquier otro tipo de superficie. Su forma de actuar es que reaccionan ante la luz del sol descomponiendo la materia orgánica, que luego desaparece gracias al viento y la lluvia.

Este mismo efecto será aplicable, es un futuro no muy lejano a superficies interiores de viviendas y oficinas.

b) Nanotecnología y Eficiencia Energéticas

Es otro de los proyectos elaborados por las empresas españolas, el uso de Parafinas o Sales hidratadas, para mejorar la eficiencia energética de los edificios y reducir la generación de gases de efecto invernadero, estos materiales absorben y ceden calor a las viviendas en función de necesidades, por contraste con la temperatura exterior.

c) Nanotecnología y casas que se Autoreparan

La Universidad de Leeds, en Inglaterra, tiene un proyecto para crear edificios inteligentes, que podrán resistir terremotos y reparar las grietas que se produzcan, gracias a la nanotecnología.

El proyecto llamado Intelligent Safe and SecureBuildings (ISSB) desarrolla un material formado por nanopartículas poliméricas, que pasan de estado sólido a líquido si se someten a presión. El líquido rellenaría las grietas y luego volverían a solidificarse, arreglando las roturas y grietas del edificio.

El proyecto está a cargo de Nano-Manufacturing Institute de la Universidad de Leeds y los primeros prototipos se están desarrollando en Grecia, esta investigación está a nivel de laboratorio.

En cuanto se cuente con el diseño industrial óptimo, se podrá iniciar la producción de miles de litros de la nanopartícula líquida en cuestión, que se adicionará a la mezcla de yeso en proporciones muy pequeñas, explica el profesor Tenny Wilkins, que trabaja en el proyecto.



### **3.5.2.- Pinturas Inteligentes que Detecta Fallas en Grandes Estructuras.**

Ingenieros de una Universidad del Reino Unido desarrollaron una pintura que, combinada con electrodos, puede detectar fallas microscópicas de grandes estructuras, como puentes o turbinas eólicas.

El producto que se obtiene a un bajo costo utiliza la nanotecnología para revelar daños estructurales mucho antes de que ocurra una falla. Por esa razón, según los expertos podría revolucionar, la forma en que se controla la seguridad de las grandes estructuras en todo el mundo.

El doctor Mohamed Saafi del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Strathelyde en Escocia, desarrolló la pintura junto con David Megahon, quien inició el proyecto como parte de su doctorado.

La pintura está diseñada para que actúe como un cuerpo humano con nervios y sistemas sensoriales, señaló Saafi a la BBC Mundo. Según explicó, cuando los sensores detectan un daño, la conductividad presente en la pintura ofrece indicaciones que permite corregirlo.

Por su parte, los electrodos son capaces de detectar movimientos, los cuales se deben a debilidades estructurales o a corrosión.

Según el científico Saafi, la pintura ha sido diseñada para reaccionar frente a agentes ambientales como la corrosión inducida por cloruro, la humedad y dióxido de carbono. Por ejemplo, ayudaría a detectar cualquier daño invisible como microgrietas que aparezcan en una base de hormigón de turbinas eólicas.

Debido a su bajo costo, el producto puede ser utilizado en países en desarrollo, para detectar daños causados por terremotos y ayudar a los equipos de rescate.

Las pruebas aplicadas hasta el momento han demostrado, de acuerdo con los especialistas, que el producto es altamente eficaz y puede realizarse la función que desempeñan los inspectores de seguridad a una fracción del costo.

El equipo investigador, no obstante, continuará sus estudios con la aplicación de la pintura en tres grandes estructuras: una turbina de viento, un puente y un túnel subterráneo cerca de la ciudad de Glasgow.

### **3.5.3.- Hormigones autoreparables**

Durante siglos se ha experimentado para mejorar los materiales de construcción, de modo que no necesiten mantenimiento. Esto es lo que tienen en mente los científicos del departamento de Concrete Structures de la Universidad Técnica de Delft, en los países bajos, que están desarrollando un hormigón que se regenera.

Para prepararlo, se mezcla el cemento tradicional con cepas de una bacteria microscópica diseñada sintéticamente y lactado de calcio. Al entrar en contacto con el agua, estas bacterias se activan y proceden alimentarse del calcio, tras la digestión, secretan piedra caliza que tiene la propiedad de sellar las fisuras del hormigón, rellenando sus propios huecos.

Esto parece cosa de ciencia ficción, pero estos científicos se inspiran en la Biomimética, ciencia que estudia la naturaleza para inspirarse en ella.

Este hormigón autorreparable puede suponer un importante ahorro en el mantenimiento de edificios e infraestructuras, al autoreparar automáticamente pequeñas grietas que pueden surgir tras movimientos sísmicos.

“Este concreto denominado bio - concreto tenderá a revolucionar la forma en que se construye, porque estamos inspirados por la naturaleza”, señaló el científico holandés Henk, Jonkers cuando fue nominado al premio mejor inventor europeo 2015.

#### **CAPITULO IV : CONCLUSIONES**

De acuerdo al objetivo general, el presente trabajo de investigación ha generado un vasto conocimiento profesional en el uso de la nanotecnología en la construcción, donde su implementación puede ofrecer múltiples aplicaciones, variadas posibilidades de uso y una revolución en la construcción actual.

Esta nano tecnología ofrece un gran potencial, para crear innovaciones radicales y de alto valor, en la fabricación y uso de materiales con nuevas propiedades y técnicas de construcción. Vale decir, al combinar diferentes materiales de construcción con una serie de innovaciones, se puede promover tanto la plusvalía del producto como sus nuevas técnicas de utilización y estilo de construcción.

En la medida en que los profesionales de la construcción se involucren en la investigación de materiales constructivos y, en especial, se interesen por la nanotecnología podremos crear un nuevo y muy diferente concepto de arquitectura y de edificación.

La nanotecnología ofrece soluciones prácticas y palpables a corto, mediano y largo plazo. La construcción del presente y futuro está en nuestras manos, en nuestra capacidad de asimilar y responder a los nuevos cambios mencionados.

#### 4.1.- **Glosario** (Wikipedia)

Abrasión	Es la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.
Aditivo	Son componentes orgánicos (resinas) o inorgánicos, que tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco.
Aglomerante	Material capaz de unir fragmentos de una o varios materiales y de dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico.
Arcillas	La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicato de aluminio hidratados.
Argamasa	Tipo de mortero empleado como material de construcción en albañilería, compuesto por una mezcla de cal, arena y agua
Átomo	Es la porción más pequeña de un elemento químico que intervienen en las reacciones químicas y posee las propiedades de dicho elemento
Calizas	La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).
Calor de hidratación	Calor producido por el proceso de hidratación durante el fraguado y endurecimiento del cemento.
Calcáreos	Material que en su estructura posee un alto porcentaje de carbonato de calcio. Ej. Algunos tipos de suelos.
Carbonato de calcio	Compuesto químico de formula $\text{CaCO}_3$ .
Catalizadores	Se refiere a aditivos endurecedores
Clinker	Es el componente principal del cemento común y por tanto del hormigón. El Clinker se obtiene como resultado de la calcinación en horno, de mezclas de calizas arcillosos.
Cemento hidráulico	Hace referencia a todos los tipos de cemento que necesitan mezclarse con agua para endurecer, proceso que se conoce como fraguado.

Cenizas volantes	Son los residuos sólidos que se obtienen por precipitación electrostática. Se utiliza como adiciones para hormigones.
Conglomerante	Material capaz de unir fragmentos de uno varios materiales y dar cohesión el conjunto por efecto de transformaciones químicas.
Corrosión	Es el deterioro de un material, originado por una reacción electroquímica (oxidación).
Densidad	En física y química, la densidad se refiere a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un sólido.
Desencofrado	Desmantelamiento del encofrado que contiene el hormigón y que se realiza una vez que se haya endurecido.
Dovela	En arquitectura e ingeniería civil, la dovela es un elemento constructivo que conforma un arco, que por lo general es de hormigón armado o pretensado.
Ductilidad	Es una propiedad que presentan algunos materiales como los metales o materiales asfálticos, los cuales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse.
Elasticidad	Es la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores, se eliminan.
Elementos verticales	Son elementos y muros o pilares que se apoyan sobre la cimentación.
Elementos horizontales	Las vigas son elementos horizontales, que soportan el peso superior y lo transmiten a los pilares.
Esquistos calcinados	Los esquistos son rocas caracterizados por el predominio de minerales laminares (silicatos en láminas), que favorecen su fragmentación en capas delgadas. El esquisto calcinado se produce en un horno a altas temperaturas.
Exotérmicas	Es cualquier reacción química que desprenda energía, ya sea como luz o energía.

Exudación del hormigón	Es un fenómeno que se produce por el ascenso del agua de amasado de una mezcla de hormigón durante el tiempo que dura el fraguado.
Fátiga de materiales	Fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas.
Fibras de acero discontinua	Las fibras de acero, son materiales que se utilizan en el hormigón para controlar mejor las grietas que las armaduras de hormigón armado convencional.
Fraguado	Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón.
Fotocatálisis	Es un nuevo tipo de pintura que, en esencia funciona como purificador de aire mediante un proceso de fotocatalisis, elimina virus, bacterias, microorganismos, humos y olores al recibir radiación solar o artificial.
Hidratación	Reacción química que se produce al mezclar una sustancia como el cemento con agua, creando una estructura cristalina al fraguarse.
Hidrófobos	Se aplica a aquellas sustancias que son repelidas por el agua o que no se pueden mezclar con ella, ejemplo Los aceites son sustancias hidrófobas.
Hormigon Pretensado	Se denomina hormigón pretensado a la tecnología de construcción de elementos estructurales de hormigón sometidos intencionalmente a esfuerzos de compresión, previo a su puesta en servicio. Dichos esfuerzos se consiguen mediante barras, alambres o cables de acero que son tensados y anclados al hormigón.
Humo de Sílice	El humo de sílice es un subproducto que se origina en la reducción de cuarzo de elevada pureza. Se utiliza como adiciones para hormigón de alta resistencia.
Lactato de Calcio	Es una sal cálcica del ácido láctico.
Margas	Es un tipo de roca sedimentaria compuesta principalmente de calcita y arcillas.
Meta caolín	Es un aditivo para el hormigón que puede sustituir hasta un 20% del cemento utilizado en su fabricación, aumentando su durabilidad.

Molécula	Agrupación definida y ordenada de átomos que constituyen la porción más pequeña de una sustancia pura y conserva todas sus propiedades.
Montero Tixotrópico	Es un mortero proyectable a base de cemento, cal área, áridos calcáreos y silíceos como componentes principales.
Monómero	Es una molécula de pequeña masa molecular que está unida a otros números, a veces cientos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, formando macromoléculas llamadas polímeros.
Nanotecnología	Tecnología que se dedica a la manipulación de la materia a nivel de átomos o moléculas, con fines industriales o médicos, entre otros.
Nanociencia	Es el estudio de los procesos fundamentales que ocurren en estructuras de 1 a 100 nanómetros (nm).
Nanómetro o Nanómero	Medida de longitud que equivale a las mil millonésimas parte del metro.
Nanotubos de carbón	Son estructuras tubulares constituidos por átomos de carbón, cuyo diámetro es del tamaño del nanómetro.
Nanoestructuras	Es una estructura con un tamaño intermedio entre las estructuras moleculares y microscópicas. Aquí estamos hablando de la nanoescala.
Nano escala o escala Nanométrica	Se hace referencia normalmente a las estructuras con una escala de longitud entre 1 a 100 nm.
Partículas exfoliadas	Se refiere a la tendencia de los materiales cristalinos para dividirse a lo largo de planos estructurales.
Polímeros	Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión mediante enlaces covalentes de una o más unidades simples llamadas monómeros.
Propiedades biocidas	Las biocidas son sustancias químicas sintéticas de origen natural o microorganismos. El uso de biocidas aplicados a los materiales de construcción, hacen que los materiales adquieran una elevada bio - resistencia y pueden evitar el efecto negativo de los microorganismos en la durabilidad de los materiales.

Resistencia a la flexión	Es una medida de la resistencia a la tracción del concreto o hormigón.
Resistencia a compresión	Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.
Resistencia a tracción	Es el máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse. La tracción es el esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

SOLO USO ACADÉMICO

## **4.2 Bibliografía.**

Dentro de la bibliografía vista podemos señalar:

- Instituto nacional de normalización. (1982). Áridos para morteros y hormigones. En Norma Oficial (NCh 164 E Of76). Chile: Chile.
- Instituto Nacional de normalización. (1982). Cementos compresión de morteros de cemento. En INN (NCh 158 Of 67). Chile: Chile.
- Sanz Solana Vicent. (2012). aplicaciones de la nanotecnología en la construcción y el hábitat. España: Sanz Solana.

### **Sitios Recomendados:**

- Mariano Martin Escobar. (2015). Nanotubos de carbono. 2015, de Proffesor of Materials Technology. National University West Sitio web: - <http://www.nanotubo.com.ar/nanotubos-de-carbono.php>
- MasterEmaco. (2019). Tipos de Mortero. 2019, de Master Emaco Sitio web: <https://www.master-builders-solutions.basf.cl/es-cl/products/masteremaco>
- INPRA LATINA. (2018). Nanotecnología en Pinturas, una realidad. 2019, de INPRA LATINA Sitio web: <https://www.inpralatina.com/201111142260/articulos/pinturas-y-recubrimientos/nanotecnologia-en-pinturas-una-realidad.html>
- PROTAN S.A. (2003-2007). Información referente a la pintura con nanotecnología. 2019, de PROTAN S.A Sitio web: [https://www.protansa.com/pro\\_productos.htm](https://www.protansa.com/pro_productos.htm)
- Wikipedia. (2019). Nanotecnología en general. 2019, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>