

## **Propuesta de Especificaciones Técnicas para el uso de materiales metálicos en construcciones.**

Esta propuesta preliminar considera proponer algunas especificaciones técnicas para el uso de materiales metálicos de construcción, para los distintos tipos de climas y condiciones ambientales de las diferentes regiones del país, de modo de brindar un apoyo para la toma de decisiones en cuanto a seleccionar un material metálico y al tipo de protección que requiere dicho material según el ambiente al cual estará expuesto. Para efecto de esta propuesta se ha considerado como base la Norma Chilena NCh 1079 Of77 *Arquitectura y Construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*, y los resultados del proyecto INNOVA CORFO “*Construcción de Mapas de Corrosividad atmosférica de Chile para los metales y aleaciones de mayor interés tecnológico, que permitan seleccionar de manera óptima los materiales a utilizar en las diferentes zonas ambientales del país*”.

### **1. Alcance**

- 1.1** Esta especificación técnica establece una zonificación de agresividad ambiental para Chile, con el objeto de facilitar la selección de materiales metálicos para la construcción.
- 1.2** Los factores a considerar para la clasificación de agresividad son tiempo de humidificación (TDH,  $\tau$ ), y los contaminantes atmosféricos de cloruro provenientes de la salinidad ambiental (categoría S) y dióxido de azufre (categoría P). Estas tres variables permiten estimar la categoría de corrosividad ambiental (C).
- 1.3** Otro criterio para evaluar la corrosividad atmosférica es utilizar los valores obtenidos en la determinación de la velocidad de corrosión del metal o aleación al primer año de exposición.
- 1.4** Esta especificación se puede aplicar en la elaboración de proyectos de construcción para las distintas zonas geográficas de Chile, clasificadas según los mapas de corrosividad para los metales cobre, aluminio, acero al carbono y acero galvanizado.

## 2. Referencias

Las normas que se mencionan a continuación están referidas al tema del texto.

NCh 1079. Of 77. Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile, y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

UNE – EN ISO 11130-2000. Corrosión de metales y aleaciones. Ensayo de inmersiones alternadas en solución salina (ISO 11130:1999)

UNE – EN ISO 11130-2001 ERRATUM. Corrosión de metales y aleaciones. Ensayo de inmersiones alternadas en solución salina (ISO 11130:1999)

UNE – EN ISO 11306: 1998. Corrosión de metales y aleaciones. Guías para la exposición y evaluación de metales y aleaciones en la superficie marina. (ISO 11306: 1998)

UNE – EN ISO 8044: 2000. Corrosión de metales y aleaciones. Términos principales y definiciones. (ISO 8044: 1999)

UNE 112004: 1994. Corrosión de metales y aleaciones. Vocabulario

ISO 9223: 1992(E): Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of Atmospheres – Classification.

ASTM D512 - 10 Standard Test Methods for Chloride Ion In Water

ISO 9224:1992, Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres-Guiding values for the corrosivity categories.

ISO FDIS 9225: Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres

ISO 9226: 1992. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres -Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity

ISO 8044:1989, Corrosion of metals and alloys-Vocabulary.

ISO 8407:1991, Corrosion of metals and alloys-Removal of corrosion products from corrosion test specimens.

ISO 8565:1992, Metals and alloys- Atmospheric corrosion testing- General requirements for field tests.

ASTM D2010 - 98(2010). Standard Test Methods for Evaluation of Total Sulfation Activity in the Atmosphere by the Lead Dioxide Technique.

ASTM G-140 -02 (2008). Standard Test for Determining Atmospheric Chloride Deposition Rate by Wet Candle Method.

## 3. Terminología

*Temperatura:* Medida del movimiento molecular o el grado de calor de una sustancia. Se mide usando una escala arbitraria a partir del cero absoluto, donde las moléculas teóricamente, dejan de moverse. Es también el grado de calor y de frío. En observaciones de la superficie, se refiere principalmente al aire libre o temperatura ambiental cerca a la superficie de la tierra.

*Temperatura Máxima:* Es la mayor temperatura registrada en un día, en el periodo que va entre las 08:00 y las 20:00 horas.

*Temperatura Media:* Promedio de lecturas de temperatura tomadas durante un período de tiempo determinado. Por lo general es el promedio entre las temperaturas, Máxima, Mínima, Temp. 00z y Temp. 12z.

*Temperatura Mínima:* Es la menor temperatura registrada en un día, en el periodo que va entre las 20:00 horas del día anterior y las 08:00 hrs.

*Humedad:* Contenido de vapor de agua del aire; puede ser expresado como humedad específica, humedad relativa, o razón de mezcla.

*Humedad Específica:* Razón entre la masa de vapor de agua de una muestra de aire y el masa combinada de vapor de agua y aire seco. Comparar con razón de mezcla.

*Humedad Relativa:* Razón entre la cantidad existente del vapor de agua en el aire a una temperatura dada y la cantidad máxima que podrá existir a esa temperatura, expresada en porcentajes.

*Precipitación:* Cualquiera o todas las formas de partículas de agua, ya sea líquida o sólida, que cae desde la atmósfera y llegan a la superficie. Se acostumbra a identificarla como la cantidad de lluvia caída.

*Radiación Solar:* Radiación electromagnética total emitida por el sol.

*Vector del Viento:* Término que incluye ambos, la dirección y la velocidad del viento.

*Viento:* Aire en movimiento relativo a la superficie de la tierra, generalmente usado para denotar el movimiento horizontal.

*Velocidad del Viento:* Promedio del movimiento del viento, en distancia por unidad de tiempo.

*Agresividad de la Atmósfera:* Es el potencial de la atmósfera para provocar corrosión en metales o aleaciones. Se puede medir con base en los siguientes parámetros ambientales: humedad, temperatura y contaminación.

*Corrosividad de la Atmósfera:* Habilidad de la atmósfera para provocar corrosión en un sistema dado (por ej. metal o aleación).

*Tiempo de Humectación:* Período durante el cual una superficie metálica está cubierta por una película de electrolito (incluso adsorbida) que estimula significativamente la corrosión atmosférica. Se estima como el porcentaje del tiempo en que la humedad relativa (HR) es mayor de 80% y la temperatura superior a 0 °C.

*Categoría de la Contaminación:* Característica cualitativa o cuantitativa determinada convencionalmente, que señala la cantidad de sustancias químicas activas, gases corrosivos o partículas suspendidas en el aire, tanto naturales como producidas por el hombre, diferentes de los compuestos ordinarios del aire.

*Tipo de Atmósfera:* Caracterización de la atmósfera sobre la base de un apropiado criterio de clasificación: industrial, marina, urbana, etc., o de factores operacionales complementarios: química, etcétera.

*Contaminación Atmosférica:* Presencia en el aire de sustancias extrañas, sean éstas gaseosas, sólidas o la combinación de ambas, en cantidad y durante un tiempo de permanencia que puede provocar efectos nocivos para la salud humana y un deterioro de los bienes de uso y del paisaje.

#### **4. Clasificación Climática de Chile**

Se presenta a continuación la clasificación climática del territorio nacional utilizada por la Dirección Meteorológica de la Armada. Esta clasificación establece los siguientes tipos de clima para el territorio nacional.

1. Clima Desértico con Nublados Abundantes
2. Clima Desértico Normal
3. Clima Desértico Marginal de Altura
4. Clima de Estepa de Altura
5. Clima Desértico Marginal Bajo
6. Clima Estepa con Nubosidad Abundante
7. Clima Estepa con gran Sequedad Atmosférica
- 8.** Clima Templado Cálido con una Estación Seca Prolongada de 7 a 8 meses y gran Nubosidad
- 9.** Clima Templado Cálido con Estación Seca Prolongada de 7 a 8 meses
- 10.** Clima Templado Cálido con Estación Seca de 4 a 5 meses
- 11.** Clima Templado Cálido con Estación Seca Corta de menos de 4 meses
- 12.** Clima Templado Lluvioso con influencia Mediterránea
13. Clima Templado Frío de Costa Occidental con Máximo Invernal de Lluvias
14. Clima de Tundra
- 15.** Clima Continental Trasandino con Degeneración Esteparia
16. Clima de Estepa Fría
17. Clima de Hielo por efecto de Altura
- 18.** Clima Tropical Lluvioso
19. Clima de Hielo

## **5. Descripción de la ubicación geográfica de las 30 estaciones de monitoreo.**

En una norma generalmente no se describen las condiciones climáticas y de contaminación de cada estación de monitoreo, sin embargo en esta propuesta de bases técnicas se informará la condición de cada lugar dado la gran variabilidad climática.

### **Estación 1: Arica**

La ubicación absoluta de la Estación de Arica se encuentra dada por las coordenadas 361.042,06 metros Este y 7.952.370,18 metros Sur. Su ubicación relativa se contextualiza en la Zona Norte de Chile, Región de Arica y Parinacota, Provincia de Arica, específicamente en el área de Caleta Quiane, sector litoral de la ciudad de Arica. En términos físicos la estación se encuentra sometida a la constante influencia marítima ya que la proximidad a la costa es de tan solo de 10 metros, por otro lado, la topografía se describe ligeramente inclinada situada a una altura de 15 metros sobre el nivel del mar, presentando suelos predominantemente rocosos.

En relación al sector donde se encuentra inserta la estación y su entorno, los usos de suelo permitidos por el Plano Regulador Comunal vigente desde el año 2009, corresponden a la categoría Z13; Zona Industrial, la que comprende un barrio industrial existente de actividades inofensivas de esta índole además actividades complementarias a la industria, exceptuando los equipamientos de tipo salud, educación, culto, cultura y esparcimiento.

### **Estación 2: Putre**

La localización absoluta de la Estación de Putre se encuentra dada por las coordenadas 440.854,06 metros Este y 7.987.907,88 metros Sur. La ubicación relativa se inserta en la zona norte de Chile, Región de Arica y Parinacota, siendo Putre, poblado, comuna y capital de provincia de Parinacota. De manera más específica, la estación se encuentra inserta en el plano del poblado, en la actual estructura urbana, en la calle Bernardo O'Higgins # 400, constituyendo ésta lo que se denomina como el núcleo primitivo de la población, de características desérticas y rodeado por las cumbres que conforman el borde accidental del altiplano a 3.552 metros de altura, destacándose a causa de esto la escasez de oxígeno y la nula influencia oceánica debido a la importante distancia plana entre la estación y el borde costero correspondiente a 84 Kilómetros, lo que explica la gran oscilación térmica del lugar.

A grandes rasgos, la geografía de Putre se encuentra condicionada por lluvias estivales propias del Clima Desértico Marginal de Altura, siendo este de temperaturas relativamente bajas con un promedio que no supera los 10°C, las precipitaciones alimentan quebradas y cursos de agua que permiten la existencia de especies vegetales e introducidas.

### **Estación 3: Pampa del Tamarugal**

La localización absoluta de la estación se encuentra dada por las coordenadas 420.815,64 metros Este y 7.759.573,00 metros Sur. En términos de localización relativa Pampa del Tamarugal pertenece a la Región de Tarapacá, correspondiendo en estricto rigor a una llanura, es pertinente destacar que si bien el sector donde se encuentra adscrita la estación no corresponde a un salar propiamente tal, el terreno contiene un alto contenido salino, estas sales que no solo están representadas por cloruro de sodio, se han acumulado en las

superficies y han ascendido del subsuelo por capilaridad, en general, en este sector la atmósfera se presenta muy limpia, baja humedad relativa y nulas precipitaciones, sin embargo, se observa a lo largo del día la formación de ventarrones y remolinos que levantan gran cantidad de polvo fruto de variaciones locales que dan origen a la formación de centros de alta y baja presión. La estación se encuentra a una altura de 1030 metros sobre el nivel del mar al noreste de Pozo al Monte, a 2,5 kilómetros del área urbana y a 38,9 kilómetros distancia plana al mar.

Clasificación climática 4.2.

#### **Estación 4: Quilpué**

La ubicación absoluta de la estación se encuentra en el punto dado por las coordenadas 269.353,21 metros Este y 6.341.392,04 metros Sur. La ubicación relativa de la estación se ubica en la Comuna de Quilpué, Capital de Provincia del Marga Marga, correspondiente a la Quinta Región de Valparaíso, el punto se encuentra a 8,59 kilómetros de la línea de costa, a 220 metros del Estero Marga Marga y a 111 metros sobre el nivel del mar. La ubicación relativa de la estación corresponde a la Escuela de Mecánica de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Con respecto al contexto donde se encuentra inserta la estación se puede señalar que se trata de un área urbana cuyo Instrumento de Planificación Comunal permite dentro de los usos de suelo espacios destinados al uso habitacional, servicios e industria no molesta, a modo general y para tener una visión del área adyacente a la estación.

#### **Estación 5: Antofagasta**

La ubicación absoluta de la estación corresponde al punto dado por las coordenadas 357.032,46 metros Este y 7.383.667,47 metros Sur. Con respecto a la ubicación relativa se puede señalar que la estación se emplaza a 322 metros del mar en el área adyacente al puerto, sector urbanizado que a su vez y en términos físicos corresponde a las planicies litorales de la ciudad de Antofagasta a una altura de 8 metros sobre el nivel del mar, específicamente en el edificio del Ministerio de Obras Públicas de la ciudad.

Este sector costero presenta un Clima desértico con nublados abundantes (Bwn), que se caracteriza por la ausencia de precipitaciones, una marcada nubosidad parcial matinal que produce camanchaca, una alta humedad relativa y la mínima variación estacional de la temperatura (debido a la baja oscilación térmica). La regulación de la temperatura se debe a la cercanía con el mar, a la participación de la Corriente de Humboldt y a la presencia del anticiclón semipermanente del Pacífico Sur, que genera vientos desde el sur y desde el suroeste.

#### **Estación 6: San Pedro de Atacama**

La ubicación absoluta de la estación se encuentra en la coordenada 507.754,55 metros Este y la 7.517.051,60 metros Sur, en cuanto a la relativa la estación está ubicada en la Dirección Nacional de Vialidad en el sector urbano de la localidad a 137 kilómetros distancia plana de la costa, a 2,8 kilómetros del Río Loa ubicado al sureste y a 2.273 metros sobre el nivel del mar presentándose el clima desértico frío (Bwk), 75 mm anuales, y promedio anual de temperaturas de 11.2°C, en verano tiene cálidas máximas (25°C a 28°C) y frías noches de viento, mientras que en invierno las máximas son templadas (18°C a 23°C) y congeladas noches con mínimas de hasta -10°C. Un aspecto relevante a mencionar con respecto al sector a modo de presunción ya que el dato no se encuentra confirmado

puesto que no se han precisado sus efectos en la dispersión de los contaminantes, hace referencia a la dirección dominante de los vientos ( Oeste y Sur oeste ) que generalmente impide que el aire con material particulado provocado por las faenas y plantas de Chuquicamata, Radomiro Tomic y el Abra se dirijan al sector, no obstante, estos cambian en dirección Noroeste y bajo estas condiciones podrían llegar a ser arrastrados hacia la ciudad, además en los meses de junio y septiembre se produce un fenómeno llamado “jet stream” en el cual se produce por un desplazamiento estacional de masas de aire en dirección Oeste- Este entre los 33.000 y 39.000 pies de altura, cuyos vientos alcanzan más de 50 nudos provocando tormentas de polvo que afectan a la ciudad.

### **Estación 7: Copiapó**

La localización absoluta se encuentra en la intersección de las coordenadas 367.603,96 metros Este y 6.972.921,98 metros Sur. La ubicación relativa corresponde a la Comuna de Copiapó, Capital de la Provincia del mismo nombre, Región de Atacama, Zona norte de Chile, a 61,1 kilómetros de distancia plana al este de la línea de costa y a 390 metros de altura sobre el nivel del mar. La ciudad se encuentra emplazada en medio del valle transversal de Copiapó, limitado históricamente por cerros y Río Copiapó, aunque actualmente el entramado urbano ha sobrepasado el límite del río. La estación se ubica a 145 metros de los faldeos del Cerro la Cruz, próxima al límite norte en la zona baja del área urbana, caracterizada por tener un gran desarrollo en los últimos años. Un aspecto relevante, en términos climáticos se refiere a la relativa influencia marítima que recibe la zona sobre las altas temperaturas por el contexto geográfico de valle transversal en el que se encuentra, lo cual la hace entrar en un contacto casi directo con las planicies litorales. Por esta misma razón, generalmente entra a la ciudad nubosidad costera durante las mañanas, la cual se dispersa generalmente después del medio día.

### **Estación 8: Huasco**

La estación experimental se ubica en la zona próxima al puerto metalero (acero), a la Termoeléctrica Guacolda y a una fábrica de pellets, por tanto los niveles de contaminación atmosférica son importantes, así como la presencia de cloruros y sales debido a la influencia marítima en las planicies litorales de la Región de Atacama en la Bahía de Guacolda.

### **Estación 9: Coquimbo**

La localización absoluta de la estación se encuentra dada por las coordenadas 278.752,25 metros Este y 6.684.834,26 metros Sur, en tanto la ubicación relativa la emplaza en el sector de Peñuelas, límite entre la ciudad puerto de Coquimbo y La Serena, a escasos 125 metros de línea de costa y a 2 metros sobre el nivel del mar, por lo que recibe una fuerte influencia oceánica, caracterizado por una alta luminosidad y radiación, en términos climáticos se puede agregar que la humedad es perceptiblemente alta y generalmente la nubosidad puede variar entre nublados masivos y bajos acompañados de lloviznas.

### **Estación 10: Vicuña**

La localización absoluta de la estación se encuentra dada por las coordenadas 337.423,27 metros Este y 6.681.102,91 metros Sur y la ubicación relativa se encuentra en Vicuña, Provincia de Elqui, Región de Coquimbo, a 58 Kilómetros de la costa y 1070 metros sobre el nivel del mar.

En términos físicos el clima presenta una alta sequedad atmosférica donde no se percibe influencia oceánica, es importante destacar que la principal característica de este sector son los cielos predominantemente despejados, baja humedad relativa, temperaturas elevadas durante el día debido a que ocupa una zona dentro de la capa de inversión térmica, experimentando estas un baja considerable en horas de la noche, con una oscilación térmica diaria del orden de 18°C a 20 °C, equivalente al doble o tripe que la presentada en la costa, demostrando de esta forma su escasa o nula influencia marítima.

### **Estación 11: Antártica**

La ubicación absoluta de la estación se encuentra en el punto dado por la intersección de las coordenadas 397.899.21 metros Este y 3.101.869 metros Sur y la ubicación relativa se localiza en la Base Escudero, base de la Antártica Chilena permanente, que a su vez se encuentra en sector denominado como Bahía Fildes a 32 metros de distancia del mar y a 10 metros de altura del nivel del mar. El clima factor determinante frente a cualquier fenómeno se caracteriza por ser extremadamente frío, seco, ventoso y escaso de precipitaciones, donde en la práctica no existe estación estival.

### **Estación 12: Valparaíso PUCV**

La localización absoluta de la estación de Valparaíso está dada por las coordenadas 256.060,92 metros Este y 6.340.738,94 metros Sur, en tanto su ubicación relativa se emplaza en el sector urbano o plan de la ciudad de Valparaíso Capital de la Región, a 199 metros planos de la línea de costa y 15 metros de altura con respecto al nivel del mar, recibiendo de manera directa la influencia marítima de la corriente fría de Humboldt, la cual modera las temperaturas en las distintas estaciones del año haciendo que la oscilación térmica no sea importante. Las actividades propias de los ambientes urbanos han provocado un sostenido deterioro del aire debido a industrias, vehículos y barcos.

### **Estación 13: Quintero**

La localización absoluta de la estación Quintero está dada por las coordenadas 266.930,45 metros Este y 6.373388,47 metros Sur, su emplazamiento relativo se encuentra específicamente en la Empresa Puerto Ventanas a tan solo 5 metros del mar y 5 metros de altura. El aspecto más importante a destacar en esta estación hace referencia a los importantes niveles de contaminación provocados por la actividad industrial, portuaria y faenas de fundición en las que se presentan importantes niveles de emanación de dióxido de azufre y anhídrido sulfúrico. En términos físicos y debido a la localización de la estación, recibe total influencia marítima de la corriente fría de Humboldt lo que se expresa de manera determinante en sus condiciones climáticas.

#### **Estación 14: Los Andes**

La localización absoluta de la estación de Los Andes se encuentra en las coordenadas 350.843,45 metros Este y 6.364.843,37 metros Sur y la relativa en la Comuna de los Andes, Provincia del mismo nombre y Región de Valparaíso, específicamente en el Instituto Agropecuario Pascual Baburiza Hacienda San Vicente, a 86,4 Kilómetros de distancia plana de la costa y a una altura de 831 metros sobre el nivel del mar. La estación se circunscribe en superficies agrícolas con equipamientos destinados a la educación técnico profesional agrícola. En el aspecto físico geográfico se puede señalar que próximos al establecimiento se encuentran alturas de 800 a 1000 metros correspondientes a los cerros la Virgen y el Castillo por el noreste y sureste, y por el oeste se verifican a través de la fotografía satelital densos sectores urbanizados destinados al uso principalmente residencial.

#### **Estación 15: Casablanca**

La localización absoluta corresponde al punto dado por las coordenadas 272.287,94 metros Este y 6.310.997,63 metros Sur, en cuanto a la localización relativa de la estación esta se encuentra en la Comuna de Casablanca, perteneciente a la Provincia de Valparaíso, cuya Región es del mismo nombre, específicamente en la Viña Kingston cuya altura alcanza los 262 metros sobre el nivel del mar lo que determina junto con los 19,2 kilómetros de distancia a la costa y la masividad del colinaje costero con cerros cercanos a los 500 metros de altura, su característica continentalizada con tendencia semiárida lo que provoca notables desequilibrios térmicos diarios y estacionales.

Las condiciones del valle de Casablanca han facilitado un cambio sustantivo del uso del suelo desde una agricultura tradicional a una actividad con un peso importante en la economía del sector agrícola, es decir, a la actividad vitivinícola, lo que ha logrado brindar mayores competencias al lugar, provocando la expansión de la actividad en el valle, explicando a su vez, el entorno próximo a la estación y la importante extensión de superficie dedicada a esta actividad en la zona.

#### **Estación 16: Río Blanco**

La localización absoluta de la estación Río Blanco se emplaza en las coordenadas 380.168,50 metros Este y 6.355.538,11 metros Sur, en tanto la localización relativa de esta estación se enmarca en una pequeña localidad perteneciente a la V Región de Valparaíso situada en un fondo de valle inserto en la cordillera de los Andes a 86,4 kilómetros de la costa y 1.560 metros de altura rodeado por cumbres nevadas que van desde los 2500 a los 3000 metros. Debido a la presencia de cursos de agua y de condiciones favorables en el área se presenta desde comienzos del 1900 el cultivo de piscicultura, desarrollándose precisamente esta actividad en el lugar donde se ubica la estación, en el ámbito físico, en esta Región, la Cordillera de Los Andes es alta e imponente, representada por una serie de cuencas tectónicas localizadas en el sector occidental del cordón andino.

#### **Estación 17: Santiago B.BOSCH**

La localización absoluta de la estación de Santiago se encuentra en el punto cuya referencia entregan las coordenadas 339.644,14 metros Este y 6.311.042,05 metros Sur, en términos relativos esta se encuentra en la Comuna de Quilicura al noroeste de la Capital, perteneciente a Región Metropolitana. Hacia la periferia de la comuna se encuentran

ubicados los cerros islas y hacia el interior o centro se forma una superficie mayoritariamente llana de escasa pendiente encontrándose la estación a 491 metros de altura y a 86,5 kilómetros de distancia en línea recta de la costa. Para una mayor comprensión de las condiciones del área que contiene a la estación y según el instrumento de planificación actual de la comuna PLADECO ( Plan de Desarrollo Comunal ) se puede señalar que esta comuna corresponde a un sector urbanizado con un crecimiento explosivo en los últimos 10 años, lo que se asocia de manera estrecha a una serie de problemas ambientales relacionados a la manipulación de químicos y al desarrollo industrial, el material particulado en suspensión y la fuga de químicos industriales son la tónica del funcionamiento ambiental de la comuna por ser esta bifuncional como espacio residencial e industrial, usos de la comuna adyacentes a la estación y donde esta se encuentra emplazada.

### **Estación 18: Santiago PUC**

La localización absoluta de la estación se encuentra dada por las coordenadas 350.308,70 metros Este y 6.292.227,10 metros Sur y su ubicación relativa se encuentra en el sector sur de la Región Metropolitana, Comuna de San Joaquín, Campus del mismo nombre propiedad de la Pontificia Universidad Católica de Chile, a 576 metros de altura en la cuenca de Santiago y a 93,3 kilómetros de distancia en línea recta a la costa. A grandes rasgos es importante comentar en primera instancia que el relieve regional y la presencia de inversión térmica en la Región tienen un marcado efecto en el régimen de los vientos, desfavorables en cuanto a la dispersión de contaminantes atmosféricos sobretodo en el período invernal, presentándose esto como una constante en los puntos dentro de la cuenca de Santiago. En el caso particular de esta estación, aparece inserta en un contexto próximo a áreas verdes en el Campus, sin embargo, se ubica a 393 metros de la mayor integración vial de la comuna hacia la zona centro oriente de la ciudad siendo esta la arteria vial Vicuña Mackenna, donde además se articula el Metro, lo que significa gran movimiento y flujo de personas en fuentes móviles de contaminación. Además, se reconoce en los sectores próximos y en la comuna en general una mixtura en términos de vivienda e industria, donde actualmente se desarrolla un proceso de descenso en estas dos formas de ocupación del espacio, ya sea porque las antiguas industrias se encuentran en receso y proceso de abandono por las dificultades de adaptarse a las exigencias ambientales o por la pérdida de población, lo que marca un franco aumento de envejecimiento de esta comuna , situación que espera ser revertida a través de la construcción masiva de vivienda vertical para dinamizar la comuna, de manera que el escenario futuro visualiza un sector que concentre los efectos de un sector densamente concentrado en términos urbanos.

### **Estación 19: Rancagua**

La localización absoluta de la estación se encuentra dada por las coordenadas 338.477,98 metros Este y 6.218.529,64 metros Sur, en tanto su localización relativa se ubica en el sector noroeste de la Comuna de Rancagua a 491 metros de altura y a 115 kilómetros de la línea de costa, en el entramado urbano de la ciudad. Para una mayor comprensión de las condiciones de la comuna y contexto de la estación, se destaca que la ciudad ha experimentado un crecimiento importante en las últimas dos décadas lo que ha derivado en deterioro del medio ambiente y aumento de la contaminación por material particulado, manejo de residuos y congestión vehicular, ente otros.

### **Estación 20: Coronel**

La localización absoluta de la estación de Coronel se ubica en los 663.750,65 metros Este y los 5.906.679,65 metros Sur, y su localización relativa se encuentra 30 kilómetros al sur de Concepción en la Comuna de Coronel situada en la Región del Bio Bio. Su cercanía al mar representada por 1,21 kilómetros genera una amplitud térmica moderada actuando el mar como regulador térmico, en términos físicos se encuentra en el borde costero a 12 metros sobre el nivel del mar entre el océano pacífico y la cordillera de la costa, la estación se encuentra específicamente en el área industrial cuyo perfil de la comuna apunta a ese sector denominado como industrial portuario, a pesar de poseer una baja densidad las áreas industriales, aun se sostiene que Coronel en el futuro tiene todas las condiciones para iniciarse en esa línea por sus extensas áreas alejadas de la población, por tener terrenos planos para la construcción y urbanización además de la existencia de vías estructurantes necesarias para el desarrollo de toda actividad que dinamice el territorio.

### **Estación 21: Laja**

La ubicación absoluta de la estación experimental está dada por las coordenadas 685.171,26 metros Este y 5.866.756,69 metros Sur, la ubicación relativa se encuentra en la dirección fundo 49 a 118 metros de altura sobre el nivel del mar y a 78 Kilómetros de distancia a la línea de costa en la Comuna de Laja, Región del Bio Bio. De manera mas específica la estación está establecida

al oeste del área urbana en un sector rural organizado en torno a villorrios y caseríos, entidades muy menores con respecto al centro urbano de la ciudad. En esta área los suelos acogen una vocación territorial básicamente silvícola que se correlaciona con el cultivo de la especie *Pinus Radiata*.

Las Temperaturas en general presentan una media anual de entre 13° y 14° C. La temperatura media de invierno no desciende de 8° C. La media de las mínimas en invierno oscila en los 4° C. La media de las máximas, que se producen en verano, son relativamente homogéneas y oscilan alrededor de los 28° C, en cuanto a las precipitaciones la alta concentración estacional de ellas son concordantes con la situación general del centro del país.

El Régimen de Vientos, se presentan con sus mayores frecuencias en dirección sur y suroeste, especialmente en los meses de mayor temperatura, entre octubre y marzo. El viento norte también presenta una frecuencia alta, especialmente en otoño e invierno, se aprecia que el viento predominante durante el período estival es sur, ello implica que la pluma de humo que se origina en la planta Laja de CMPC, cubre en su desplazamiento a la ciudad de Laja; con la consiguiente contaminación y merma en la calidad de vida en la Comuna.

### **Estación 22: Temuco**

La localización absoluta se ubica en el punto dado por las coordenadas 705.108,67 metros Este y 5.706.092,74 metros Sur, la relativa se encuentra 3 kilómetros al suroeste de la Comuna de Temuco, Región de la Araucanía, a 654 metros del Río Cautín, a 66,6 kilómetros de distancia plana de la costa y a 94 metros sobre el nivel del mar. Las características climáticas definen un "Clima Templado Lluvioso, con corta estación de sequía", (Koeppen). La precipitación anual promedio es de 1150 mm distribuidos entre Enero y Diciembre durante todos los meses del año y la humedad relativa fluctúa entre el

70 y 90% con predominancia de vientos Oeste. Debido a las condiciones climáticas y la necesidad de calefacción es que en general Temuco presenta una alta tasa de contaminación ya que el uso masivo de estufas a leña aumenta considerablemente la polución.

#### **Estación 23: Puerto Varas**

La localización absoluta se encuentra dada por la intersección de las coordenadas 668.298,51 metros Este 5.423.683,49 metros Sur y la localización relativa de la estación se ubica en la Comuna de Puerto Varas ubicada en la Provincia de Llanquihue, Región de los Lagos, a 696 metros del Lago Llanquihue a 70,7 kilómetros de la costa a una altura de 77 metros sobre el nivel del mar. La estación se encuentra inserta en el área de extensión urbana en una industria de manufactura de productos metálicos.

#### **Estación 24: Valdivia**

La ubicación absoluta de la estación de Valdivia se encuentra dada por la intersección de las coordenadas 649.610,77 metros Este y 5.590.066,87 metros Sur, la altura alcanza los 4 metros sobre el nivel del mar, la distancia a la línea de costa fluvial próxima a la confluencia de los ríos Cruces y Calle Calle, se puede observar a 3,10 metros, y a 12,3 kilómetros de la línea de costa marítima. La ubicación relativa de la estación se localiza en la Comuna de Valdivia, perteneciente a la Provincia del mismo nombre, que a su vez se adscribe en la Región de Los Ríos, la Zona Sur de Chile. La estación se establece en el sector oeste de la urbe sobre llanos de sedimentación fluvial, en un clima templado lluvioso u oceánico con precipitaciones abundantes acumulando 2600 mm anuales que alcanzan la mayor intensidad entre los meses de marzo y septiembre. Dentro de los rasgos relevantes del lugar donde se encuentra la estación también se puede agregar, en términos de contaminación atmosférica, la baja calidad del aire de la ciudad, alcanzando niveles críticos en los meses de invierno constatándose excedencias a la norma permitida.

#### **Estación 25: Ensenada**

La ubicación absoluta de la estación está dada por las coordenadas 706.476,56 metros Este y 5.435.382,73 metros Sur. En términos relativos, se encuentra en una localidad al este de la Comuna de Puerto Varas en la ribera oriental del Lago Llanquihue a 40 metros de este, su entorno principalmente está conformado por bosque nativo.

Las características climáticas principalmente responden a un clima fresco y húmedo con temperaturas anuales que van entre los 10 y 13°C de promedio y precipitaciones que por lo general sobrepasan los 1,200 mm anuales debido especialmente a la influencia marítima y a la ubicación geográfica.

#### **Estación 26: Puerto Montt**

La localización absoluta está dada por las coordenadas 672.139,66 metros Este y 5.406.729,80 metros Sur. Ubicada en el sur de Chile, en la capital de la Provincia de Llanquihue, Región de Los Lagos, se expone a la constata influencia marítima con carencia de estación seca a precipitaciones abundantes, además de una temperatura caracterizada por una baja oscilación.

### **Estación 27: Puerto Aysén**

La localización absoluta de la estación se encuentra en las coordenadas 670.267,7 metros Este y 4.963.106,01 metros Sur, a una altura de 2 metros y a 53,4 metros de distancia de la línea de costa por la bahía, a la cual se accede mediante la navegación por fiordos y canales encontrándose el mar abierto a 129 kilómetros en línea recta de la estación. La ubicación relativa de la estación la inserta en el poblado de Puerto Chacabuco, en la Comuna y Provincia de Puerto Aysén, Región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo, a 15 kilómetros de Aysén y a 82 kilómetros al oeste de Coyhaique, Capital Provincial y Regional, en la Zona Sur de Chile. Este sector se caracteriza por su alta pluviosidad, con un promedio de 3.600 mm al año con vientos predominantes del oeste. Según antecedentes de Capitanía de Puerto el oleaje en este sector es escaso, salvo en muy pocas ocasiones donde alcanzaría un nivel máximo de 0,83 metros de altura.

### **Estación 28: Coyhaique**

La localización absoluta de la estación de Coyhaique está dada por el punto que genera la intersección de las coordenadas 727.388,36 metros Este y 4.947.533,75 metros Sur, la altura alcanza los 231 metros sobre el nivel del mar y la distancia plana al mar de la estación es de 57,4 kilómetros. La localización relativa de la estación está al suroeste del sector urbano consolidado de la ciudad y Comuna de Coyhaique, Capital Provincial del mismo nombre, que a su vez es parte de la Región de Aysén del General Carlos Ibañez del Campo en la Patagonia chilena. La estación se ubica a 131 metros del Río Simpson, fuera del casco urbano, el lugar se enmarca dentro de la cordillera patagónica, caracterizado por valles y cuerpos de agua, en el valle del Simpson, donde se denota la pluviselva subandina desidia por el frío, riguroso, con precipitaciones del orden de los 800 a los 1200 mm anuales, caracterizándose por un clima ventoso y frío.

### **Estación 29: Punta Arenas**

La localización absoluta de la estación se encuentra en los 371.645,98 metros Este y 4.106.914,55 metros Sur a 12 metros sobre el nivel del mar y a 146 metros de distancia de la línea de costa. La localización relativa la sitúa en la Capital de la Región de Magallanes y Antártica Chilena, en la ciudad continental más austral del mundo, específicamente en la Gobernación Marítima del Puerto ubicada en el extremo sureste del área urbana consolidada, próxima al paso marítimo Estrecho de Magallanes, en la península de Brunswick.

El clima semiárido del lugar de la estación se caracteriza por una baja precipitación al año, con nieve durante el invierno. Las temperaturas alcanzan una media de 17°C en los meses de verano, mientras que en la época invierno descienden hasta los 7°C en promedio. Las precipitaciones se distribuyen uniformemente a lo largo de todo el año, alcanzando 65 mm. Las heladas son algo frecuentes en invierno, sin embargo, la nieve se hace presente sólo algunos días en el año durante el invierno y sobre todo en las zonas interiores y de mayor altitud, aunque puede granizar desde abril a octubre. Los vientos son frecuentes y por lo general superan los 100 km/h. Las mínimas dentro de los meses de invierno pueden descender bajo los -10°C cuando llegan "olas polares", y la máxima en los meses de verano, especialmente en la segunda mitad de Enero, puede alcanzar los 25°C si es que no hay viento, lo cual es poco frecuente.

### **Estación 30: Isla de Pascua**

La localización absoluta de la estación de Isla de Pascua está dada por las coordenadas 654.737,19 metros Este y 6.995.261,89 metros Sur, a 500 metros de altura y a 22 metros sobre el nivel del mar. La ubicación relativa está dada por la Gobernación marítima de Hanga Roa específicamente en el sector urbano de la ciudad puerto y capital de la Provincia de Isla de Pascua en Chile. Esta Comuna se localiza en las tierras bajas entre los volcanes extintos Munga Terevanka y Rano Kau. La isla posee un clima tropical fresco, calificado como un clima raro dentro del tropical, sin embargo, es propio de islas oceánicas de latitudes intermedias, impera una baja oscilación térmica y las precipitaciones se distribuyen de manera regular durante el año, las que son de origen convectivo aunque las bajas presiones provocan precipitaciones frontales, la temperatura promedio es de 20 a 24°C en febrero y el mínimo de 18 °C durante agosto.

### **Estación 31: Curauma PUCV**

La localización absoluta de la estación Curauma corresponde al punto que genera la intersección de las coordenadas 260.127,53 metros Este y 6.329.564,76 metros Sur, cuya distancia plana a la línea de costa es de 10,4 kilómetros y su altura sobre el nivel del mar es de 368 metros.

La localización relativa de la estación la enmarca en la localidad de Curauma ubicada al sur este de la ciudad de Valparaíso, 421 metros de distancia a Laguna y a 1,5 kilómetros del Lago Peñuelas, encontrándose específicamente en el Campus Curauma de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. El sector actualmente experimenta un proceso de conurbación con el Gran Valparaíso, la expansión urbana se destaca por mantener dos perfiles dados por los instrumentos de planificación territorial cuyas tendencias son de orden habitacional e industrial, instalándose importantes empresas nacionales e internacionales atraídas por el núcleo industrial emergente, por otro lado los suelos cercanos a la estación se han visto ocupados por un proceso de expansión explosiva debido al gran interés climático paisajístico que apunta a la deslocalización residencial de la Región Metropolitana de Valparaíso. Además de las dos formas de ocupación ya mencionadas, los suelos han sido ocupados densamente por plantaciones de especies exóticas de valor forestal y maderero como es el caso de Pino Insigne( *Pinus Radiata*) y principalmente del Eucalipto (*Eucalyptus Globulus*) que predominan en el ambiente de Curauma, anexando a esto la existencia de aserraderos.

## **6. Clasificación de la Corrosividad de la atmósfera en relación con su Agresividad.**

Reconociendo que existen otros factores que influyen en los procesos de corrosión (las condiciones de exposición, la composición del metal y las propiedades del óxido formado), en esta propuesta se considera que la acción conjunta de los factores de contaminación y los meteorológicos determinan la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos.

- La característica atmosférica más importante que se relaciona directamente con el proceso de corrosión es la humedad, que es el origen del electrolito necesario en el proceso electroquímico (tiempo d humidificación).
- Los Cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) y Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ) son los principales contaminantes corrosivos de la atmósfera.

- De acuerdo a la norma ISO 9223: 1992(E): *Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of Atmospheres – Classification.*, la corrosividad de la atmósfera se clasifica en las cinco categorías especificadas en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Categorías de corrosividad de la atmósfera (ISO 9223:1992)

Categoría	Corrosividad
C1	Muy baja
C2	Baja
C3	Mediana
C4	Alta
C5	Muy alta

Las diferentes categorías de corrosividad se establecen de acuerdo con los efectos progresivos de la contaminación y el tiempo de humectación. A medida que aumenta la agresividad de la atmósfera, aumenta, por lo general, la velocidad de corrosión de los metales. (ISO 9223:1992). En la Tabla 2 se muestra para acero al carbono como se determina la agresividad considerando las variables TDH ( $\tau$ ), contenido de cloruro (S) y contenido de dióxido de azufre (P).

**Tabla 2.** Estimación de la corrosividad ambiental

CUADRO III.8. Estimación de la corrosividad de la atmósfera por categorías ISO 9223:1992.																
Acero al carbón																
	$\tau_1$			$\tau_2$			$\tau_3$			$\tau_4$			$\tau_5$			
	$S_0$ - $S_1$	$S_2$	$S_3$													
$P_0$ - $P_1$	1	1	1-2	1	2	3-4	2-3	3-4	4	3	4	5	4	5	5	
$P_2$	1	1	1-2	1-2	2-3	3-4	3-4	3-4	4-5	4	4	5	5	5	5	
$P_3$	1-2	1-2	2	2	3	4	4	4-5	5	5	5	5	5	5	5	
Zinc y cobre																
$P_0$ - $P_1$	1	1	1	1	1-2	3	3	3	3-4	3	4	5	4	5	5	
$P_2$	1	1	1-2	1-2	2	3	3	3-4	4	3-4	4	5	5	5	5	
$P_3$	1	1-2	2	2	3	3-4	3	3-4	4	4-5	5	5	5	5	5	
Aluminio																
	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$P_0$ - $P_1$	1	1	2	2	1	1	2-3	4	3	3	3-4	4	3	3-4	3-4	5
$P_2$	1	1	2	2-3	1-2	1-2	3-4	4	3	3	4	4-5	3-4	4	4	5
$P_3$	1	1	2-3	3	2	3-4	4	4	3	4	4-5	5	4-5	5	5	5

## 7. Determinación de la velocidad de corrosión para la evaluación de corrosividad

La velocidad de corrosión de los metales considerados en el proyecto INNOVA - CORFO se determina utilizando la metodología descrita en la norma ISO 9226 *Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity*. International Organization for Standardization, (1992), Génova. ISO 9223 *Corrosion of metals and alloys, Corrosivity of atmospheres, Classification*.

Las muestras son láminas de forma rectangular de 10 cm x 10 cm x 0,4 cm, donde los materiales evaluados tienen la siguiente composición:

- Cobre y Aluminio de pureza 99,9%
- Acero al carbono A-36, 99,2% de Fe
- Acero Galvanizado con una capa de cinc superficial de 85  $\mu\text{m}$  de espesor, cuya composición es de 98,5% de Zn, 1,0% de Fe y un 0,5% de Al.

Previo a la exposición de la muestra éstas son pulidas y desengrasadas.

Se determina el promedio de la velocidad de corrosión considerando muestras por triplicado y para ello se determina pérdida de masa por unidad de área después de eliminar los productos de corrosión (ISO 8407) y después de un año de exposición al medio atmosférico.

### ***Expresión de los resultados***

La velocidad de corrosión ( $V_c$ ) del metal o aleación se expresa en gramos por centímetro cuadrado por año ( $\text{g cm}^{-2} \text{año}^{-1}$ ), ec.1.

$$V_c = \frac{\Delta m}{A \cdot t} \quad \text{ecuación 1}$$

donde:

$\Delta m$  es pérdida de masa en gramos

$A$  es el área superficial en  $\text{cm}^2$

$T$  el tiempo de exposición en años

La velocidad de corrosión también puede ser expresada en micrómetros por año ( $\mu\text{m año}^{-1}$ ) y está dada por la ecuación 2.

$$V_c = \frac{\Delta m}{A \cdot d \cdot t} \quad \text{ecuación 2}$$

donde  $d$  es la densidad en gramos por centímetro cúbico del metal o aleación,

$$d_{\text{Fe}} = 7,86 \text{ g/cm}^3 \quad d_{\text{Cu}} = 8,96 \text{ g/cm}^3 \quad d_{\text{Zn}} = 7,14 \text{ g/cm}^3 \quad d_{\text{Al}} = 2,70 \text{ g/cm}^3$$

en la Tabla 3 se presenta la categoría de corrosividad considerando la velocidad de corrosión del metal o aleación.

**Tabla 3.** Estimación de la categoría de corrosividad de una atmósfera a partir del dato de corrosión del primer año de exposición, según ISO 9223.

<b>Categoría de Corrosividad</b>	<b>Unidades</b>	<b>Acero</b>	<b>Zinc</b>	<b>Cobre</b>	<b>Aluminio</b>
C1	g/m <sup>2</sup> /año	≤ 10	≤ 0,7	≤ 0,9	desp.
	μm/año	≤ 1,3	≤ 0,1	≤ 0,1	-
C2	g/m <sup>2</sup> /año	10-200	0,7-5	0,9-5	≤ 0,6
	μm/año	1,3-25	0,1-0,7	0,1-0,6	-
C3	g/m <sup>2</sup> /año	200-400	5-15	5-12	0,6-2
	μm/año	25-50	0,7-2,1	0,6-1,3	-
C4	g/m <sup>2</sup> /año	400-650	15-30	12-25	2-5
	μm/año	50-80	2,1-4,2	1,3-2,8	-
C5	g/m <sup>2</sup> /año	650-1500	30-60	25-50	5-10
	μm/año	80-200	4,2-8,4	2,8-5,6	-

## **8. Recomendaciones de uso de materiales metálicos según clasificación climática, agresividad ambiental y velocidad de corrosión**

Las especificaciones técnicas para el uso de los materiales metálicos de construcción, según el clima y las condiciones ambientales de cada región de Chile, se desprenden de los valores de velocidad de corrosión, que están disponibles para cada estación de estudio y

metal de mayor uso en construcción en la página web:  
[www.mapadecorrosionatmosfericadechile.cl](http://www.mapadecorrosionatmosfericadechile.cl)

En la página web encontrará toda la información sobre agresividad ambiental, mapas de corrosividad ambiental, datos de velocidad de corrosión cada 3 meses, mapas de velocidad de corrosión de Chile, modelos de velocidad de corrosión, datos de tenacidad de los materiales, publicaciones sobre el tema, entre otros.

La Asociación Chilena de Corrosión tiene a disposición de los interesados esta información, y cualquier duda sobre el uso de los mapas puede ser gestionada a través de los correos electrónicos de la directiva de ACHCORR, que aparece en la página web [www.achcorr.cl](http://www.achcorr.cl)

Esta información permite realizar el diseño de una estructura metálica con conocimientos del grado de agresividad ambiental de cada zona estudiada, y la velocidad de corrosión de los metales, para considerar el tipo de protección que requiere para su durabilidad.

La información que se encuentra en la página web permite procesarla fácilmente para tenerla en consideración desde la fase de proyecto hasta la etapa de terminaciones.