



# RECONSA

## PROYECTO COSTA DE MONTEMAR VI ETAPA

### **INFORME TÉCNICO DEL COLECTOR CORNISA FRENTE A UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO ANÁLISIS CON PRECIPITACIONES DE GAC**

**JULIO 2025**

|      |          |                      |     |              |              |
|------|----------|----------------------|-----|--------------|--------------|
|      |          |                      |     |              |              |
| B    | 4-7-2025 | REVISIÓN DEL CLIENTE | CRF | LEEA         | LEEA         |
| A    | 4-7-2025 | REVISIÓN INTERNA     | CRF | LEEA         | LEEA         |
| REV. | FECHA    | EMITIDO PARA         | POR | REVISADO POR | APROBADO POR |

#### **LUIS ESTELLÉ INGENIERÍA LTDA.**

Diagonal Paraguay 390 Dpto. 81, Santiago, Región Metropolitana.

estelleluis@gmail.com / mavo\_cl@yahoo.com

+56 9 9359 0186 / +56 9 9939 0054

## **CONTENIDO**

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1       | INTRODUCCIÓN .....                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1  |
| 2       | ANTECEDENTES.....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2  |
| 3       | ÁREA DE ESTUDIO .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 3  |
| 4       | REVISIÓN DE ANTECEDENTES .....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6  |
| 4.1     | Proyecto de Pavimentación y Evacuación de Aguas Lluvias y Estructuras, Costa de Montemar Sur VI Etapa, Concón, Región de Valparaíso. Sociedad Urbanizadora Reñaca – Concón S.A. Elaborado por Heriberto Araos Ovalle Ingeniero Civil. Abril de 2018. ....                                        | 6  |
| 4.2     | Evaluación de Cambio Climático Bajo Escenario RCP 8.5. Adenda Complementaria Estudio “Urbanización y Loteo Costa de Montemar VI Etapa”, Comuna de Concón, Región de Valparaíso. Sociedad Urbanizadora Reñaca – Concón S.A. Elaborado por Gestión Ambiental Consultores S.A., Junio de 2023. .... | 7  |
| 4.3     | Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Concón, Región de Valparaíso (PM-43). Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. Elaborado por Arrau Ingeniería SpA. Febrero de 2022. ....                                                                           | 11 |
| 5       | METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN .....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 18 |
| 5.1     | Descripción.....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 18 |
| 5.2     | Tormentas de Evaluación en Escenarios Sin Cambio Climático y Con Cambio Climático .....                                                                                                                                                                                                          | 20 |
| 5.2.1   | Duración y Periodo de Retorno de la Tormenta .....                                                                                                                                                                                                                                               | 20 |
| 5.2.2   | Definición de Tormentas .....                                                                                                                                                                                                                                                                    | 24 |
| 5.2.2.1 | Tormenta en Escenario Sin Cambio Climático .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 26 |
| 5.2.2.2 | Tormenta en Escenario Con Cambio Climático .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 29 |
| 5.3     | Modelación Hidrológica-Hidráulica SWIMM Con Proyecto Aguas Lluvias Costa de Montemar VI Etapa .....                                                                                                                                                                                              | 31 |
| 6       | RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....                                                                                                                                                                                                                                                         | 35 |
| 6.1     | Situación Sin Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático .....                                                                                                                                                                                                                                     | 35 |
| 6.2     | Situación Sin Proyecto, Escenario Con Cambio Climático .....                                                                                                                                                                                                                                     | 38 |
| 6.3     | Situación Con Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático .....                                                                                                                                                                                                                                     | 41 |
| 6.4     | Situación Con Proyecto, Escenario Con Cambio Climático .....                                                                                                                                                                                                                                     | 44 |
| 7       | CONCLUSIONES .....                                                                                                                                                                                                                                                                               | 47 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 4-1 Variables Climáticas Consideradas en la Evaluación por Cambio Climático .....                                                                             | 8  |
| Tabla 4-2 Diferencia de medias (delta) y tendencia decadal significativas ( $p < 0,05$ ) para variables de precipitación. ....                                      | 10 |
| Tabla 4-3 Evaluación de variables de precipitación en extremos de su distribución. ....                                                                             | 11 |
| Tabla 4-4 Colectores Red Primaria Existente Sistema Cornisa. ....                                                                                                   | 12 |
| Tabla 4-5 Colectores Red Secundaria Existente Sistema Cornisa .....                                                                                                 | 12 |
| Tabla 4-6 Resultados modelación Colector Cornisa para evento $T=2$ años y $D=12$ horas. ....                                                                        | 14 |
| Tabla 4-7 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto. ....                                                                                      | 16 |
| Tabla 5-1 Identificación de Escenarios a Considerar en la Evaluación .....                                                                                          | 20 |
| Tabla 5-2 Resultados Generales de Red de Colectores de Concón para Eventos de Tormenta $T=2$ años y Duraciones de Tormenta $D= 1, 6, 12$ y $24$ horas. ....         | 20 |
| Tabla 5-3 Periodos de Retorno para Diseño para Obras Hidráulicas.....                                                                                               | 21 |
| Tabla 5-4 Coeficiente de Duración (CD) Lago Peñuelas, Región de Valparaíso. ....                                                                                    | 22 |
| Tabla 5-5 Coeficientes de Duración (CD) aplicados para $T=100$ años, lluvias de duración entre $1$ y $24$ horas.....                                                | 23 |
| Tabla 5-6 Coeficientes de Duración (CD) aplicados para lluvias de duración entre $10$ y $60$ min .....                                                              | 23 |
| Tabla 5-7 Comparación de Resultados de Precipitación Máxima Diaria .....                                                                                            | 25 |
| Tabla 5-8 Constantes $a$ y $b$ de Curva IDF, $T=100$ años, Escenario Sin Cambio Climático .....                                                                     | 27 |
| Tabla 5-9 Hietograma de Tormenta Escenario Sin Cambio Climático, $T=100$ años, $D=12$ horas, Precipitación: $86,28$ mm. ....                                        | 28 |
| Tabla 5-10 Constantes $a$ y $b$ de Curva IDF, $T=100$ años, Escenario Con Cambio Climático....                                                                      | 29 |
| Tabla 5-11 Hietograma de Tormenta Escenario Con Cambio Climático $T=100$ años, $D=12$ horas, Precipitación: $91,09$ mm. ....                                        | 30 |
| Tabla 5-12 Actualización de subcuencas aportantes al incorporar proyecto Colector Montemar VI Etapa.....                                                            | 34 |
| Tabla 6-1 Resultados modelación Colector Cornisa para Situación Sin Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático, $T=100$ años y $D=12$ horas (SP-SCC $T100D12$ ).....  | 36 |
| Tabla 6-2 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.....                                                                                       | 38 |
| Tabla 6-3 Resultados modelación Colector Cornisa para Situación Sin Proyecto, Escenario Con Cambio Climático, $T=100$ años y $D=12$ horas (SP-CCC $T100D12$ ) ..... | 39 |
| Tabla 6-4 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.....                                                                                       | 41 |
| Tabla 6-5 Resultados modelación Colector Cornisa para Situación Con Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático, $T=100$ años y $D=12$ horas (CP-SCC $T100D12$ ).....  | 42 |
| Tabla 6-6 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.....                                                                                       | 44 |
| Tabla 6-7 Resultados modelación Colector Cornisa para Situación Con Proyecto, Escenario Con Cambio Climático, $T=100$ años y $D=12$ horas (CP-CCC $T100D12$ ).....  | 45 |

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 6-8 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.....                                       | 47 |
| Tabla 7-1 Comparación Situación Sin Proyecto, entre escenarios Sin Cambio Climático y<br>Con Cambio Climático. .... | 50 |
| Tabla 7-2 Comparación Situación Con Proyecto, entre escenarios Sin Cambio Climático y<br>Con Cambio Climático. .... | 51 |

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

|                                                                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3-1 Ubicación de proyecto Costa de Montemar Sur VI Etapa y subcuenca aportante. ..                                                                     | 4  |
| Figura 3-2 Ubicación de la extensión de Av. Cornisa y sistemas de aguas lluvias<br>circundantes definidos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón. .... | 5  |
| Figura 4-1 Planta de colector de aguas lluvias proyectado en extensión Av. Cornisa y<br>conexión a Colector Cornisa existente. ....                           | 7  |
| Figura 4-2 Valores medios y rangos entre percentiles 1 y 99 para simulaciones de<br>variables de precipitación en periodo histórico y futuro. ....            | 9  |
| Figura 4-3 Red Primaria y Red Secundaria Sistemas Cornisa y Tamarindos. ....                                                                                  | 12 |
| Figura 4-4 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo<br>CE-CO-00-016. Tormenta T=2 años y D=12 horas. ....                         | 15 |
| Figura 4-5 Colector Cornisa y Cámaras de Inspección.....                                                                                                      | 17 |
| Figura 5-1 Hietograma de la Tormenta Escenario Sin Cambio Climático, T100 D12,<br>Precipitación : 86,28 mm.....                                               | 27 |
| Figura 5-2 Hietograma de la Tormenta Escenario Con Cambio Climático, T100 D12,<br>Precipitación : 91,09 mm.....                                               | 30 |
| Figura 5-3 Actualización de subcuencas para Situación Con Proyecto. ....                                                                                      | 32 |
| Figura 5-4 Implementación del Colector Proyectado y Calle Proyectada en Modelación<br>SWMM.....                                                               | 33 |
| Figura 6-1 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo<br>CE-CO-00-016. Tormenta SP-SCC_T100D12.....                                 | 37 |
| Figura 6-2 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo<br>CE-CO-00-016. Tormenta SP-CCC_T100D12.....                                 | 40 |
| Figura 6-3 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo<br>CE-CO-00-016. Tormenta CP-SCC_T100D12.....                                 | 43 |
| Figura 6-4 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo<br>CE-CO-00-016. Tormenta CP-CCC_T100D12. ....                                | 46 |

---

**ANEXOS**

**ANEXO 1      MODELACIÓN EPA SWIMM**

A) SITUACIÓN SIN PROYECTO

*A.1 SIN PROYECTO - SIN CAMBIO CLIMÁTICO*

*A.2 SIN PROYECTO - CON CAMBIO CLIMÁTICO*

B) SITUACIÓN CON PROYECTO

*B.1 CON PROYECTO - SIN CAMBIO CLIMÁTICO*

*B.2 CON PROYECTO - CON CAMBIO CLIMÁTICO*

**ANEXO 2      RESULTADOS MODELACIÓN EPA SWIMM**

A) SITUACIÓN SIN PROYECTO

B) SITUACIÓN CON PROYECTO

## **1 INTRODUCCIÓN**

La Sociedad Urbanizadora Reñaca Concón S.A., en adelante RECONSA, a raíz de los recursos de reclamación respecto del Estudio de Impacto Ambiental (“EIA”) del proyecto “Urbanización y Loteo Costa de Montemar VI Etapa”, proyecto ingresado al SEIA y aprobado por Res. Ex. N°7/Rol D-118-2020, del 14 de enero de 2021, solicitó un informe técnico que permita responder a la pregunta formulada por la Directora Ejecutiva del Servicio de Evaluación Ambiental, emitida mediante OF.ORD. N° 20259910234, de fecha 10-04-2025, “si en el contexto del cambio climático el colector de aguas lluvias denominado Cornisa representa un riesgo no abordado en el EIA del Proyecto”.

Para responder la pregunta, en este informe se aplican los resultados del estudio “Evaluación de Cambio Climático Bajo Escenario RCP 8.5. Adenda Complementaria Estudio Urbanización y Loteo Costa de Montemar VI Etapa”, Comuna de Concón, Región de Valparaíso, desarrollado por Gestión Ambiental Consultores S.A. en Junio de 2023 para la Sociedad Urbanizadora Reñaca – Concón S.A.

En el presente informe se revisa con detalle el comportamiento hidráulico del colector Cornisa y de su cuenca aportante, con y sin la implementación de la extensión considerada en el proyecto “Urbanización y Loteo Costa de Montemar VI Etapa” y bajo los escenarios de la situación actual y de un cambio climático global, en una supuesta situación futura, con las precipitaciones estimadas por GAC, tanto para la situación actual como para la situación que predice el escenario RCP 8.5.

En forma anticipada es necesario indicar que el colector objeto de análisis, es un colector de antigua data, que ha tenido un buen comportamiento, y que será sometido a teóricas exigencias extremas, no comunes en el diseño de colectores de aguas lluvias, como lo es una lluvia de periodo de retorno  $T=100$  años, de muy baja probabilidad de ocurrencia ( $P(x \geq X)=0.01$ ), condiciones en las que fue evaluado por la DOH Regional mediante ORD 1389/2025 para dar respuesta a OF.ORD N°20259910234. Lo anterior quiere decir que, en promedio, la lluvia utilizada para los análisis será superada 1 vez cada 100 años. Esta lluvia será incluso maximizada suponiendo su incremento bajo un escenario de cambio climático.

Es necesario indicar, también, en forma previa, que colectores del tipo Cornisa se diseñan con lluvias de periodo de retorno de  $T=2$  a  $T=10$  años. Por otra parte, se

entiende que el período de retorno planteado en la Minuta de la DOH para evaluar el riesgo de la obra (en este caso  $T=100$  años), tiene su origen y se justificaría por la fuerte pendiente que impone la topografía del área donde se ubica el último tramo del colector Cornisa y por el cruce de la Av. Borgoño. Sin embargo, junto con ello, también al evaluarse se deben aplicar criterios razonables, para aceptar excepciones en el sentido de permitir que ciertos parámetros de diseño usuales en los proyectos sean excedidos considerando la baja probabilidad de ocurrencia y que los caudales máximos, en este caso, como en todos los eventos de aguas lluvias, se presentan sólo en un breve período de tiempo.

## **2 ANTECEDENTES**

En la elaboración del presente informe se han considerado los siguientes antecedentes vinculados al proyecto Costa de Montemar Sur VI Etapa y la zona de estudio en Concón:

- [Ref. 1] Proyecto de Pavimentación y Evacuación de Aguas Lluvias y Estructuras, Costa de Montemar Sur VI Etapa, Concón, Región de Valparaíso. Sociedad Urbanizadora Reñaca – Concón S.A. Elaborado por Heriberto Araos Ovalle Ingeniero Civil. Abril de 2018.
- [Ref. 2] Evaluación de Cambio Climático Bajo Escenario RCP 8.5. Adenda Complementaria Estudio “Urbanización y Loteo Costa de Montemar VI Etapa”, Comuna de Concón, Región de Valparaíso. Sociedad Urbanizadora Reñaca – Concón S.A. Elaborado por Gestión Ambiental Consultores S.A. , Junio de 2023.
- [Ref. 3] Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Concón, Región de Valparaíso (PM-43). Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. Elaborado por Arrau Ingeniería SpA. Febrero de 2022.

Adicionalmente, en el informe se hace referencia a los siguientes documentos técnicos que constituyen una guía y marco de referencia general para el diseño, construcción, operación y conservación de obras hidráulicas e infraestructura vial en Chile:

- Manual de Drenaje Urbano: Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras de Drenaje Urbano. Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. Octubre de 2013.
- Manual de Carreteras. Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos. Dirección General de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas. Junio del 2020.

### **3 ÁREA DE ESTUDIO**

El proyecto Costa de Montemar Sur VI Etapa se ubica en la extensión sur-poniente de la Avenida Cornisa, sector Costa de Montemar, comuna de Concón, Región de Valparaíso. La extensión de la Av. Cornisa posee una longitud aproximada de 125 m, y la subcuenca aportante posee una superficie de 1,15 hectáreas. En la Figura 3-1 se presenta la ubicación de la extensión de la Av. Cornisa y la subcuenca aportante a esta.

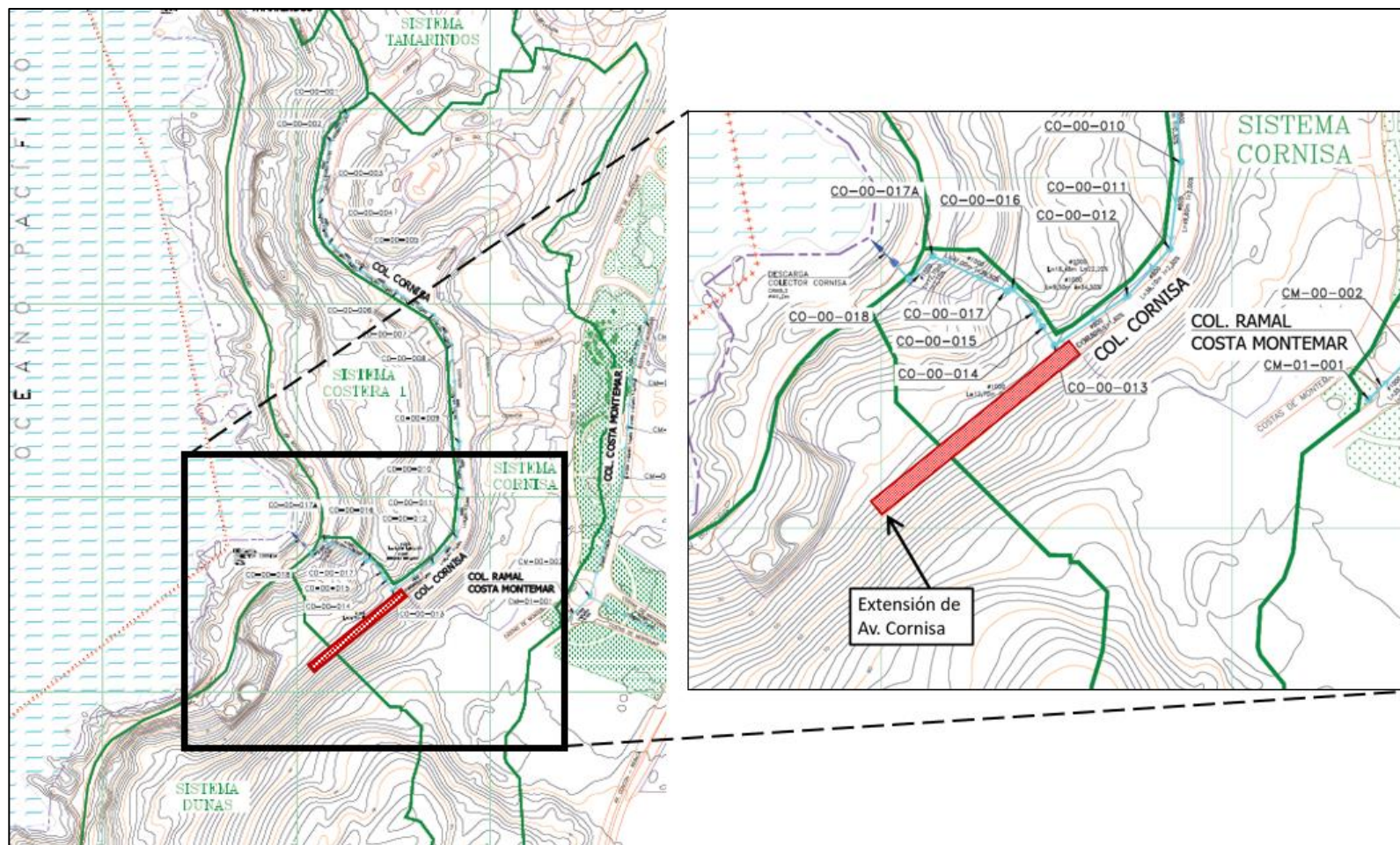
El área del proyecto y su subcuenca aportante forman parte del Sistema Cornisa, unidad de drenaje definida en el Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de la Ciudad de Concón (PM-43). Este sistema evacua sus aguas mediante el Colector Cornisa, definido en el PM-43 como parte de la red primaria de aguas lluvias de la ciudad.





**Figura 3-1 Ubicación de proyecto Costa de Montemar Sur VI Etapa y subcuenca aportante.**  
Fuente: Elaboración propia en base a imagen satelital Google Earth Pro,

En la Figura 3-2 se presenta la ubicación de la extensión de la Av. Cornisa en el contexto del Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón, junto con los límites del Sistema Cornisa y Sistemas contiguos definidos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de la ciudad de Concón.



**Figura 3-2 Ubicación de la extensión de Av. Cornisa y sistemas de aguas lluvias circundantes definidos en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón.**

Fuente: Elaboración propia en base plano de red primaria del Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón.



## 4 REVISIÓN DE ANTECEDENTES

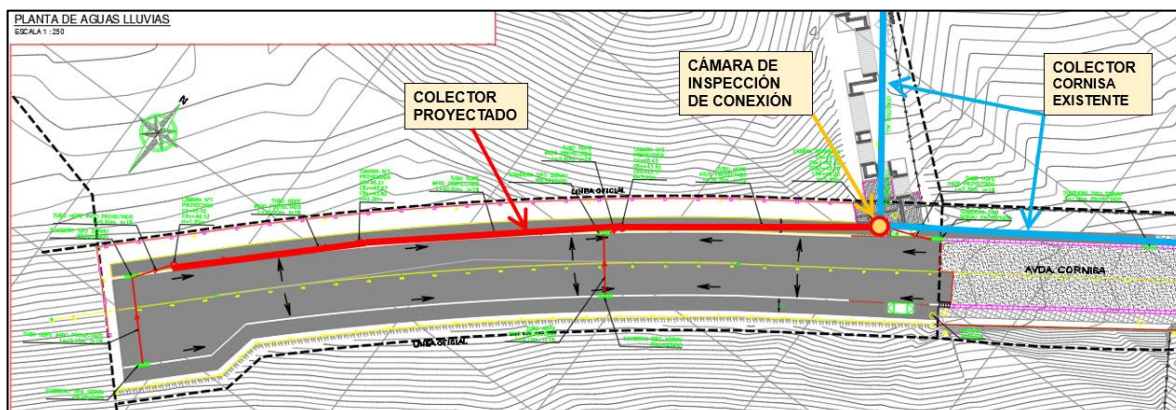
### 4.1 Proyecto de Pavimentación y Evacuación de Aguas Lluvias y Estructuras, Costa de Montemar Sur VI Etapa, Concón, Región de Valparaíso. Sociedad Urbanizadora Reñaca – Concón S.A. Elaborado por Heriberto Araos Ovalle Ingeniero Civil. Abril de 2018.

El Proyecto de Pavimentación y Evacuación de Aguas Lluvias y Estructuras, Costa de Montemar Sur VI Etapa, comprende los diseños de pavimentación de un tramo de Avenida Cornisa, el sistema de evacuación de aguas lluvias de esta, la escalera de hormigón armado que conectará Av. Cornisa con Av. Borgoño y el muro de contención contiguo a la extensión de Av. Cornisa.

En lo que concierne al sistema de evacuación de aguas lluvias, este proyecto considera como criterio de diseño una precipitación con un periodo de retorno de 10 años para la comprobación del escurrimiento superficial y de 20 años de periodo de retorno para el diseño de los diámetros y otros elementos del colector de aguas lluvias. Este colector descarga sus aguas al Colector Cornisa, colector existente que forma parte de la red primaria de evacuación de aguas lluvias de la ciudad de Concón.

El colector de aguas lluvias proyectado, tiene una longitud de 106,5 m, diámetro de 600 mm y materialidad HDPE. Considera la construcción de 3 cámaras de inspección y modificación de la cámara del Colector Cornisa a la cual se conecta. Para la captación de la escorrentía se consideran 4 sumideros tipo SERVIU de longitud 2 m. Es importante indicar que este colector proyectado, compuesto de cámaras, tuberías y de sus correspondientes sumideros, actualmente se encuentra construido, no obstante, para efectos del presente análisis se le considera como proyectado.

En la siguiente Figura 4-1 se presenta el trazado en planta del colector de aguas lluvias y su conexión con el Colector Cornisa Existente.



**Figura 4-1 Planta de colector de aguas lluvias proyectado en extensión Av. Cornisa y conexión a Colector Cornisa existente.**

#### **4.2 Evaluación de Cambio Climático Bajo Escenario RCP 8.5. Adenda Complementaria Estudio “Urbanización y Loteo Costa de Montemar VI Etapa”, Comuna de Concón, Región de Valparaíso. Sociedad Urbanizadora Reñaca – Concón S.A. Elaborado por Gestión Ambiental Consultores S.A., Junio de 2023.**

El objetivo general del estudio Evaluación de Cambio Climático Bajo Escenario RCP 8.5, consistió en evaluar las tendencias de cambio climático previstas hacia el futuro (2035-2065) en comparación con el período histórico de referencia (1980-2010), para un conjunto de variables que describan las condiciones climáticas generales y para variables que describan eventos climáticos extremos, en el área donde se emplaza el proyecto.

Sus objetivos específicos correspondieron a lo siguiente:

- I. Identificar un conjunto de variables que describan las principales amenazas climáticas sobre el área de estudio, a partir de las variables climáticas disponibles en la plataforma ARClím.
- II. A partir de los distintos modelos de circulación global disponibles en ARClím, calcular a nivel del área de estudio los rangos y valores promedio de las variables climáticas para el período histórico de referencia (1980-2010) y el período futuro (2035-2065).

III. Identificar los cambios en los riesgos climáticos predominantes sobre el área de estudio, entendidos como la combinación de una amenaza, exposición y vulnerabilidad.

IV. Aportar conclusiones sobre cambios en variables climáticas generales, eventos climáticos extremos y riesgos climáticos prioritarios que el proyecto deba considerar durante su vida útil.

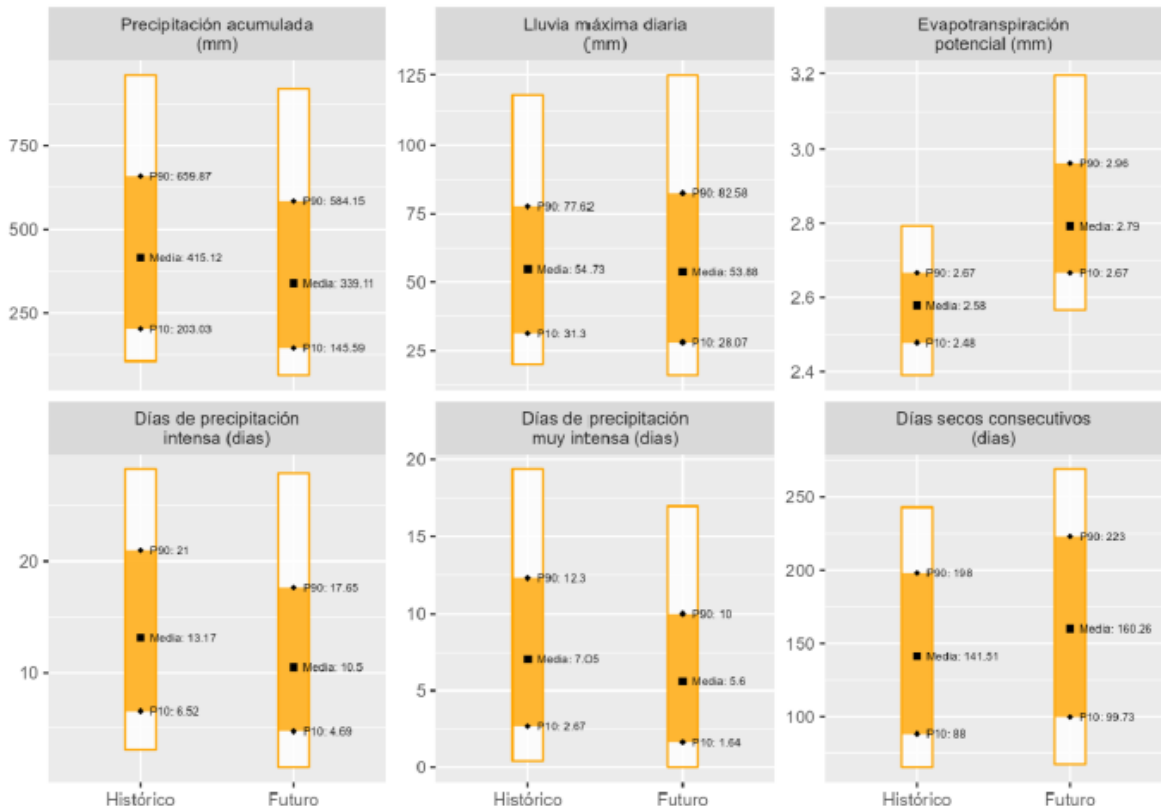
En la evaluación de cambio climático, el estudio considera en sus análisis 15 variables climáticas características de precipitación, calor y frío (Tabla 4-1).

**Tabla 4-1 Variables Climáticas Consideradas en la Evaluación por Cambio Climático**

| N°                                | Nombre variable                   | Descripción                                                                                                                                                           | Unidad |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Variables de precipitación</b> |                                   |                                                                                                                                                                       |        |
| 1                                 | Precipitación acumulada           | Cantidad de precipitación (lluvia y nieve) acumulada.                                                                                                                 | mm     |
| 2                                 | Lluvia máxima diaria              | Valor máximo de la lluvia (agua líquida) acumulada en un día.                                                                                                         | mm     |
| 3                                 | Evapotranspiración potencial      | Evapotranspiración potencial media, calculada usando el método de Penman-Montieth (FAO56).                                                                            | mm     |
| 4                                 | Días de precipitación intensa     | Número de días en que la precipitación diaria supera 10 mm.                                                                                                           | Días   |
| 5                                 | Días de precipitación muy intensa | Número de días en que la precipitación diaria supera 20 mm.                                                                                                           | Días   |
| 6                                 | Días secos consecutivos           | Número máximo de días consecutivos en que la precipitación diaria no supera 1 mm                                                                                      | Días   |
| <b>Variables de calor</b>         |                                   |                                                                                                                                                                       |        |
| 7                                 | Temperatura media                 | Valor medio de la temperatura media diaria, calculado como $(T_{max} + T_{min}) / 2$ .                                                                                | °C     |
| 8                                 | Temperatura máxima diaria         | Promedio de la temperatura máxima diaria.                                                                                                                             | °C     |
| 9                                 | Amplitud térmica                  | Valor medio de la amplitud térmica diaria ( $T_{max} - T_{min}$ ).                                                                                                    | °C     |
| 10                                | Días calurosos (>30°C)            | Número de días en que la temperatura máxima supera 30°C.                                                                                                              | Días   |
| 11                                | Noches cálidas                    | Número de días en que la temperatura mínima supera el umbral definido como el percentil 90 de la temperatura mínima diaria en el periodo de referencia (1980 a 2009). | Días   |
| <b>Variables de frío</b>          |                                   |                                                                                                                                                                       |        |
| 12                                | Temperatura mínima diaria         | Promedio de la temperatura mínima diaria.                                                                                                                             | °C     |
| 13                                | Días fríos                        | Número de días en que la temperatura máxima es menor que el percentil 10 en el periodo de referencia (1980 a 2009).                                                   | Días   |
| 14                                | Noches frías                      | Número de días en que la temperatura mínima es menor que el percentil 10 en el periodo de referencia (1980 a 2009).                                                   | Días   |
| 15                                | Días de escarcha                  | Número de días en que la temperatura mínima es menor que 0°C.                                                                                                         | Días   |

Fuente: GAC (2023).

Las variables de precipitación agrupan a las variables de precipitación acumulada anual, lluvia máxima diaria, evapotranspiración potencial, días de precipitación intensa, días de precipitación muy intensa y días secos consecutivos.



Fuente: GAC (2023), a partir de datos disponibles en ARCLim.

**Figura 4-2 Valores medios y rangos entre percentiles 1 y 99 para simulaciones de variables de precipitación en periodo histórico y futuro.**

En materia del presente informe, resulta de interés las variables de precipitación, específicamente la lluvia máxima diaria, tanto para el periodo histórico, como para el periodo futuro.

Dentro de los principales resultados del estudio se destaca que, con la excepción de la variable lluvia máxima diaria, todas las variables incluidas en la Figura 4-2 presentaron diferencias de medias estadísticamente significativas entre el periodo futuro e histórico.

Con respecto a las tendencias decadales (descritas en la Tabla 4-2), todas las variables presentaron tendencias estadísticamente significativas. La evapotranspiración potencial, y los días secos consecutivos presentaron aumentos, mientras que las variables precipitación acumulada, lluvia máxima diaria, número de días de precipitación intensa y número de días de precipitación muy intensa, presentaron disminuciones.

**Tabla 4-2 Diferencia de medias (delta) y tendencia decadal significativas ( $p < 0,1$ ) para variables de precipitación.**

| Variable                                 | Media histórica<br>(1980-2009) | Media futura<br>(2035-2064) | Delta<br>( $p < 0,1$ ) | Tendencia decadal<br>( $p < 0,1$ ) |
|------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------------|
| Precipitación acumulada (mm)             | 415,12                         | 339,11                      | -18,31                 | -14,92                             |
| Lluvia máxima diaria (mm)                | 54,73                          | 53,88                       |                        | -0,37                              |
| Evapotranspiración potencial (mm)        | 2,58                           | 2,79                        | 0,21                   | 0,04                               |
| Días de precipitación intensa (días)     | 13,17                          | 10,50                       | -2,67                  | -0,49                              |
| Días de precipitación muy intensa (días) | 7,05                           | 5,60                        | -1,45                  | -0,27                              |
| Días secos consecutivos (días)           | 141,51                         | 160,26                      | 13,24                  | 3,85                               |

Fuente: GAC (2023), a partir de datos disponibles en ARCLim.

No obstante, en el análisis de las variables de precipitación en los extremos de sus distribuciones (Tabla 4-3), desde percentiles mayores e iguales a 75%, se presentan aumentos de la variable lluvia máxima diaria. Para la variable lluvia máxima diaria, en el periodo futuro se proyectan valores de hasta 95,75 mm para el percentil 95%, y hasta 124,78 mm para el percentil 99%, de las simulaciones.

El percentil 99%, equivalente a un evento con periodo de retorno de  $T=100$  años ( $T=1/P(x \geq X)$ , con  $T$ = periodo de retorno y  $P(x \geq X)$  = probabilidad de excedencia, es decir,  $T=100$  años equivale a un evento con probabilidad de excedencia de 1%), presenta un aumento del 5,6 % con respecto el valor del periodo histórico.

**Tabla 4-3 Evaluación de variables de precipitación en extremos de su distribución.**

| Variable                                 | Período   | P01    | P05    | P10    | P25    | Media  | P75    | P90    | P95    | P99    |
|------------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Precipitación acumulada (mm)             | Histórico | 105,93 | 164,30 | 203,03 | 280,87 | 415,12 | 518,65 | 659,87 | 757,94 | 954,51 |
|                                          | Futuro    | 63,21  | 115,88 | 145,59 | 211,63 | 339,11 | 416,69 | 584,15 | 689,09 | 919,76 |
| Lluvia máxima diaria (mm)                | Histórico | 20,14  | 26,81  | 31,30  | 39,51  | 54,73  | 66,36  | 77,62  | 86,79  | 118,19 |
|                                          | Futuro    | 15,97  | 23,48  | 28,07  | 36,27  | 53,88  | 67,07  | 82,58  | 95,75  | 124,78 |
| Evapotranspiración potencial (mm)        | Histórico | 2,39   | 2,46   | 2,48   | 2,52   | 2,58   | 2,62   | 2,67   | 2,69   | 2,79   |
|                                          | Futuro    | 2,57   | 2,62   | 2,67   | 2,70   | 2,79   | 2,86   | 2,96   | 3,06   | 3,19   |
| Días de precipitación intensa (días)     | Histórico | 3,00   | 5,00   | 6,52   | 9,00   | 13,17  | 16,41  | 21,00  | 23,60  | 28,28  |
|                                          | Futuro    | 1,43   | 3,41   | 4,69   | 7,00   | 10,50  | 13,06  | 17,65  | 20,32  | 27,94  |
| Días de precipitación muy intensa (días) | Histórico | 0,42   | 2,00   | 2,67   | 4,05   | 7,05   | 9,34   | 12,30  | 14,11  | 19,35  |
|                                          | Futuro    | 0,00   | 1,00   | 1,64   | 3,00   | 5,60   | 7,37   | 10,00  | 12,52  | 16,96  |
| Días secos consecutivos (días)           | Histórico | 65,00  | 79,00  | 88,00  | 108,55 | 141,51 | 172,00 | 198,00 | 216,43 | 242,96 |
|                                          | Futuro    | 67,09  | 85,00  | 99,73  | 126,05 | 160,26 | 192,93 | 223,00 | 241,00 | 268,91 |

Fuente: GAC (2023), a partir de datos disponibles en ARClím.

#### 4.3 Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Concón, Región de Valparaíso (PM-43). Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. Elaborado por Arrau Ingeniería SpA. Febrero de 2022.

El Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Concón, Región de Valparaíso, en adelante el PM-43 o el Plan Maestro de Aguas Lluvias, define la red primaria del Sistema Cornisa incluyendo los siguientes elementos:

- Colector Cornisa: Inicia en Las Plumillas con Cornisa y continúa por Cornisa en dirección sur hasta el final de la calle Cornisa, en donde desciende por la ladera de cerro, cruza la Av. Borgoño y descarga al mar.

En las siguientes Tablas 4-4 y 4-5, se presenta el colector existente de red primaria y secundaria del sistema Cornisa, respectivamente.

Del mismo modo, en la siguiente Figura 4-3 se presenta la red primaria y secundaria del sistema Cornisa.



**Tabla 4-4 Colectores Red Primaria Existente Sistema Cornisa.**

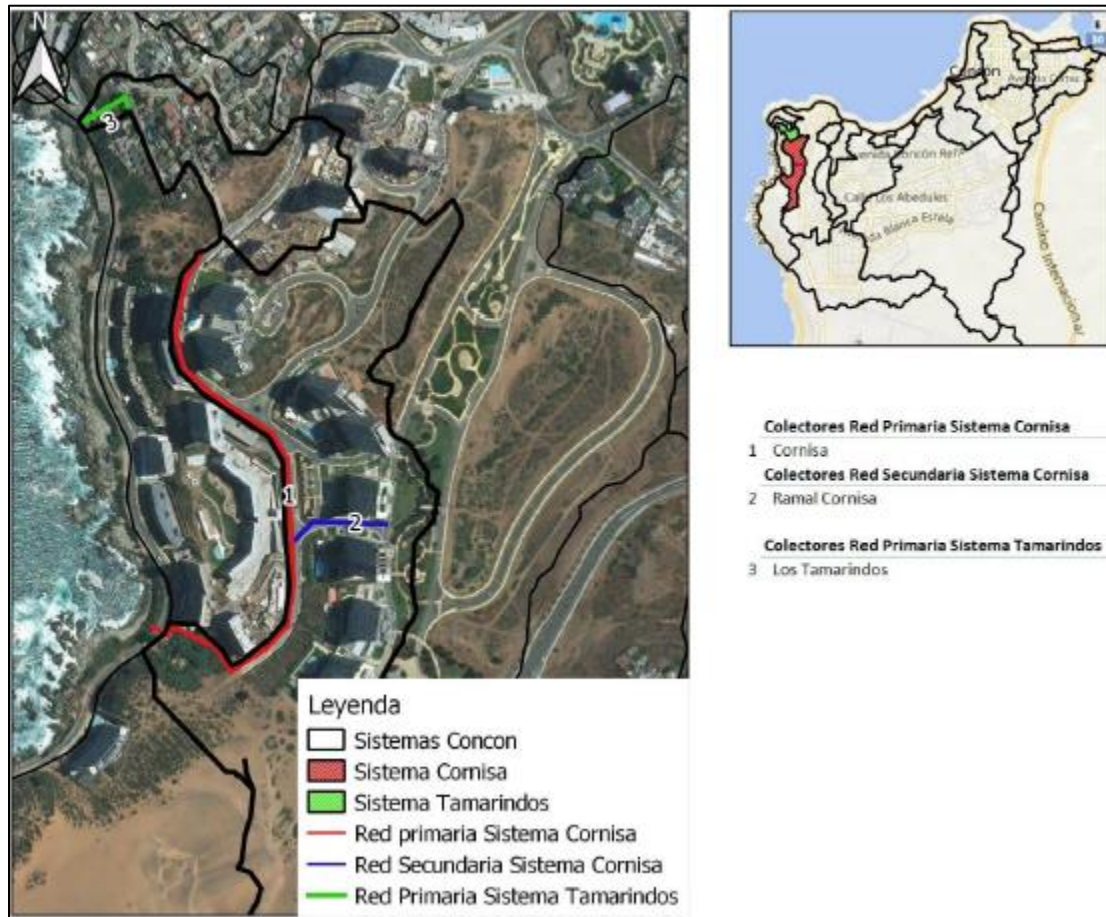
| Colector | Longitud (m) | Diámetro o Sección (m) | Pendiente (%) | Material | Situación   |
|----------|--------------|------------------------|---------------|----------|-------------|
| Cornisa  | 695          | 0,8 - 1,0              | 0,05 – 0,38   | C.C.     | Se mantiene |

Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón.

**Tabla 4-5 Colectores Red Secundaria Existente Sistema Cornisa**

| Colector      | Longitud (m) | Diámetro o Sección (m) | Pendiente (%) | Material | Situación   |
|---------------|--------------|------------------------|---------------|----------|-------------|
| Ramal Cornisa | 122          | 0,6                    | 0,04 – 0,11   | C.C.     | Se mantiene |

Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón.



**Figura 4-3 Red Primaria y Red Secundaria Sistemas Cornisa y Tamarindos.**

Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón.

En la definición de criterios de diseño hidráulico, el PM-43 establece lo siguiente para velocidades máximas en colectores y alturas de escurrimiento en colectores:

**Velocidad Máxima en Colectores:** según recomendaciones del Manual de Drenaje Urbano, la velocidad máxima del escurrimiento de aguas lluvias no debe sobrepasar 6,0 m/s para las condiciones de diseño. Para zonas de gran pendiente se podrán emplear velocidades máximas mayores, para lo cual se requerirá una justificación técnica especial. En todo caso se deben verificar el funcionamiento hidráulico y efectos de ondas, generación de resaltos, y fuerzas especiales en cambios de dirección.

**Altura de Escurrimiento en Colectores:** se considera una razón máxima entre altura de escurrimiento (h) y el diámetro útil del colector (D) del 80% ( $h/D \leq 0,80$ )

En el PM-43 el diagnóstico de colectores se realizó considerando los resultados de simulación hidrológica – hidráulica para un evento con periodo de retorno de 2 años, considerando duraciones de tormentas de duraciones 1, 6, 12 y 24 horas, obteniendo que para las tormentas con duraciones de 12 horas se generan las mayores velocidades y alturas de escurrimiento.

Frente a lo anterior, en la siguiente Tabla se presentan los resultados de la modelación hidrológica – hidráulica con el software EPA SWMM en el Colector Cornisa, para el evento de tormenta con periodo de retorno (T) de 2 años y duración (D) de 12 horas (evento identificado como T2D12), condiciones hidrológicas definidas en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón.

No se dispone de antecedentes que den cuenta del periodo de retorno con el que fue diseñado el Colector Cornisa existente, sin embargo, según los valores que se presentan en la Tabla 4-6, se infiere que su periodo de retorno de diseño pudo haber sido de  $T=2$  años.

De los resultados se observa que el Colector Cornisa, para el evento T2D12, descarga un caudal de 194 l/s, y que el tramo del colector CE-CO-00-016, entre las cámaras de inspección CO-00-016 y CO-00-017, situado en el tramo de pendiente fuerte antes de su descarga en el mar, presenta una velocidad de 6,19

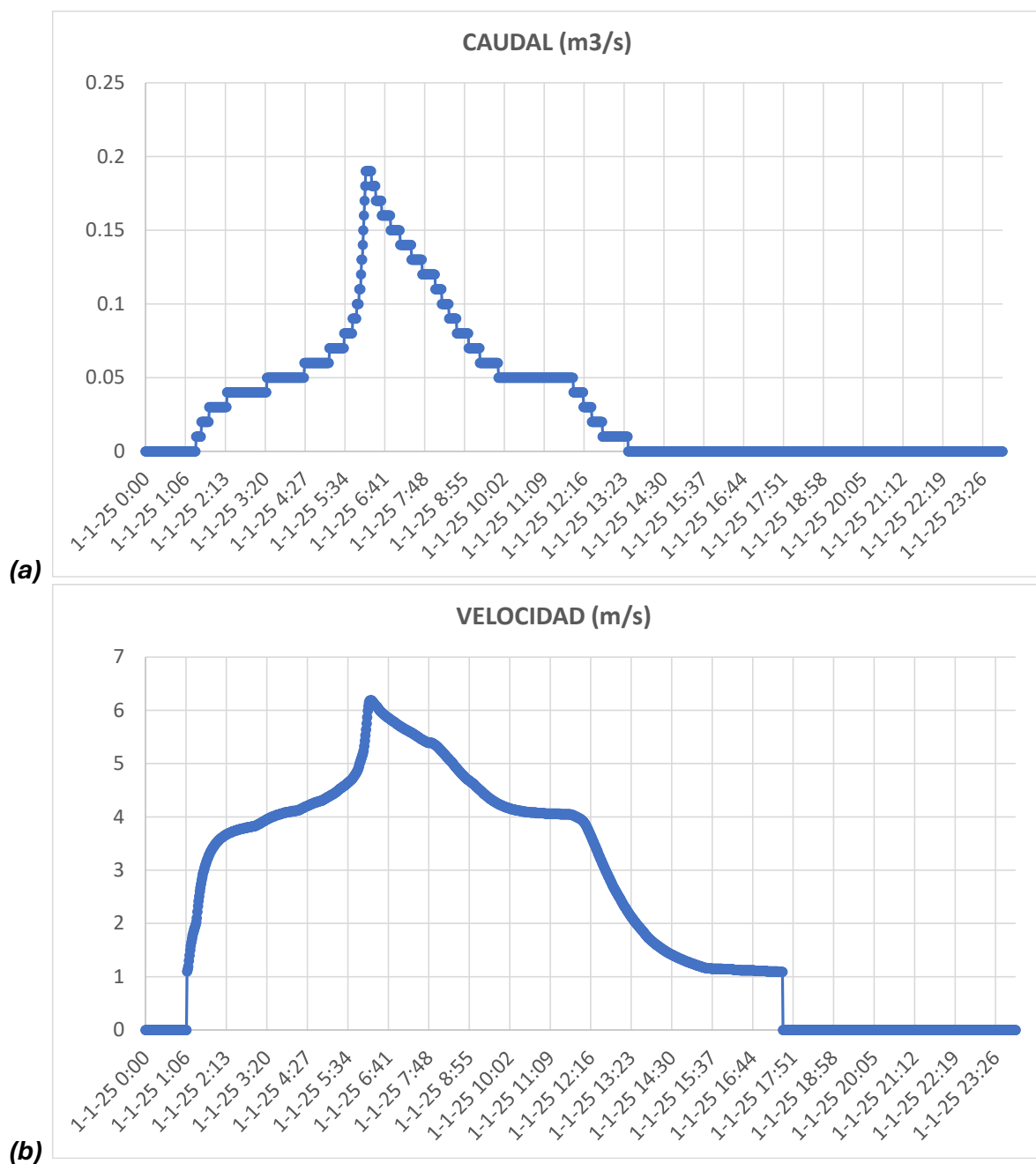
m/s, valor ligeramente superior al máximo recomendado para situaciones normales, de 6 m/s y que representa un exceso de un 3,2% por sobre dicho valor, diferencia que se considera aceptable para las condiciones de caudal evaluadas.

Para complementar lo anterior, en la Figura 4-4 se presenta la gráfica de la evolución temporal del caudal (a) y la velocidad (b) en el tramo de colector CE-CO-00-016. De los resultados de la modelación se cuantifica el tiempo en que se superan los 6,0 m/s, correspondiendo 19 minutos.

Otro resultado relevante lo constituye la baja altura del escurrimiento sobre la calle en Av. Cornisa, en las cercanías al proyecto, altura que no supera los 10 cm.

**Tabla 4-6 Resultados modelación Colector Cornisa para evento T=2 años y D=12 horas.**

| Tramo Colector<br>Link | Caudal<br>(m <sup>3</sup> /s) | Razón altura /<br>diámetro<br>h/D | Velocidad<br>V(m/s) | Cámara<br>Inspección<br>Nodo | Altura<br>Máxima de<br>Agua<br>hmax (m) |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------------------|
| CE-CO-00-001           | 0.000                         | 0.000                             | 0.00                | CO-00-001                    | 0.00                                    |
| CE-CO-00-002           | 0.000                         | 0.000                             | 0.00                | CO-00-002                    | 0.00                                    |
| CE-CO-00-003           | 0.000                         | 0.000                             | 0.00                | CO-00-003                    | 0.00                                    |
| CE-CO-00-004           | 0.000                         | 0.000                             | 0.00                | CO-00-004                    | 0.00                                    |
| CE-CO-00-005           | 0.000                         | 0.070                             | 0.00                | CO-00-005                    | 0.00                                    |
| CE-CO-00-006           | 0.133                         | 0.240                             | 1.48                | CO-00-006                    | 0.17                                    |
| CE-CO-00-007           | 0.145                         | 0.270                             | 1.30                | CO-00-007                    | 0.22                                    |
| CE-CO-00-008           | 0.145                         | 0.280                             | 1.25                | CO-00-008                    | 0.23                                    |
| CE-CO-00-009           | 0.146                         | 0.320                             | 1.06                | CO-00-009                    | 0.29                                    |
| CE-CO-00-010           | 0.146                         | 0.220                             | 1.76                | CO-00-010                    | 0.18                                    |
| CE-CO-00-011           | 0.146                         | 0.210                             | 1.85                | CO-00-011                    | 0.17                                    |
| CE-CO-00-012           | 0.149                         | 0.230                             | 1.67                | CO-00-012                    | 0.19                                    |
| CE-CO-00-013           | 0.194                         | 0.110                             | 4.21                | CO-00-013                    | 0.11                                    |
| CE-CO-00-014           | 0.194                         | 0.090                             | 5.12                | CO-00-014                    | 0.10                                    |
| CE-CO-00-015           | 0.194                         | 0.110                             | 4.36                | CO-00-015                    | 0.11                                    |
| CE-CO-00-016           | 0.194                         | 0.080                             | 6.19                | CO-00-016                    | 0.09                                    |
| CE-CO-00-017           | 0.194                         | 0.120                             | 3.70                | CO-00-017                    | 0.09                                    |
| CE-CO-00-017b          | 0.194                         | 0.130                             | 3.23                | CO-00-017A                   | 0.16                                    |
| CE-CO-018              | 0.194                         | 0.080                             | 4.66                | CO-00-018                    | 0.10                                    |



**Figura 4-4 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo CE-CO-00-016. Tormenta T=2 años y D=12 horas.**

**Tabla 4-7 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.**

| Punto Calle<br>Nodo | Altura Máxima<br>de Agua<br>hmax (m) |
|---------------------|--------------------------------------|
| NCA-COR-001         | 0.10                                 |
| NCA-COR-002         | 0.02                                 |

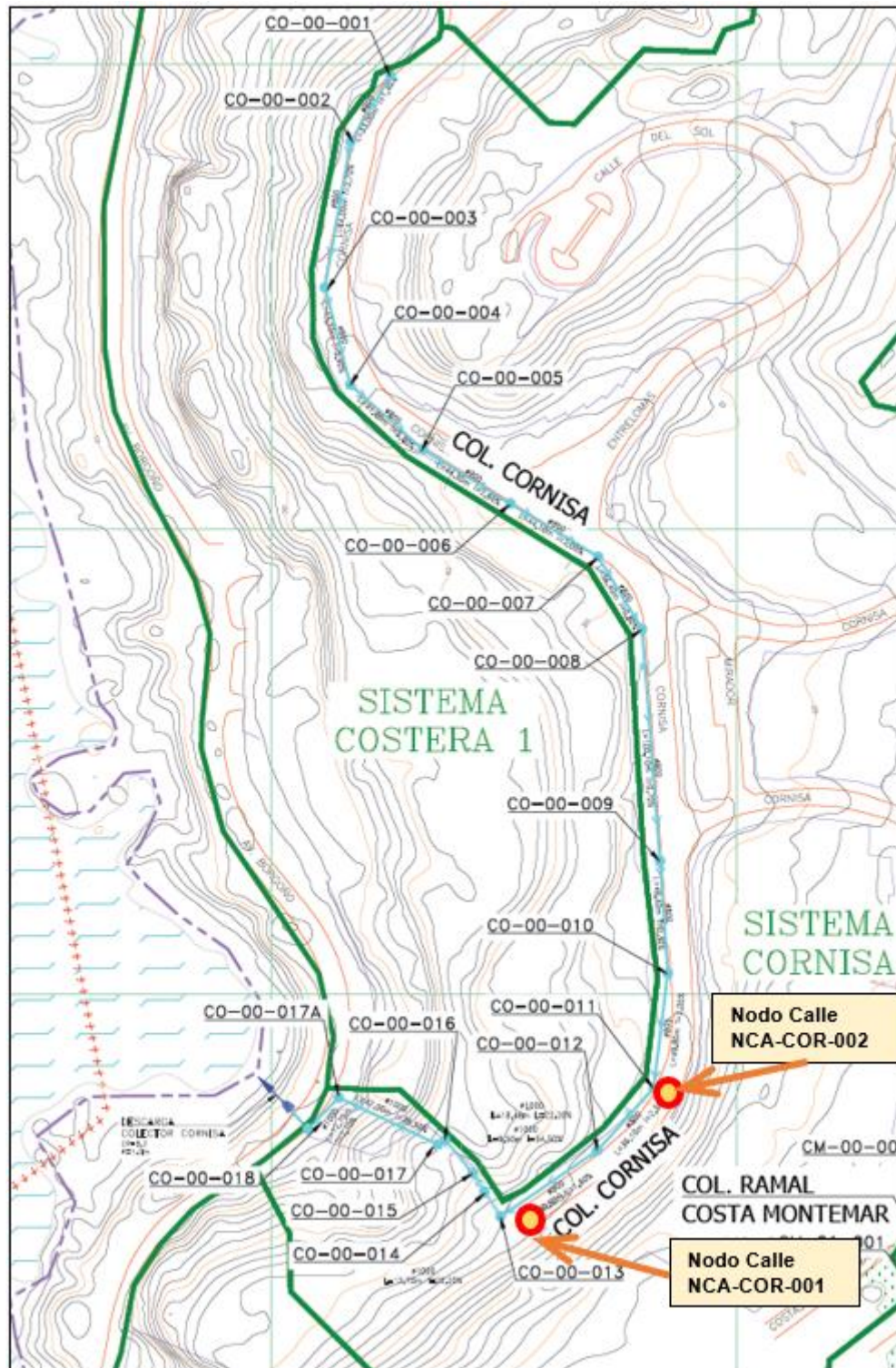


Figura 4-5 Colector Cornisa y Cámaras de Inspección.



## 5 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

### 5.1 Descripción

Para evaluar el Colector Cornisa frente a un contexto de cambio climático, se considera como principal antecedente lo realizado en el Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Concón, Región de Valparaíso.

En este Plan Maestro se elaboró un modelo de simulación numérico del funcionamiento del sistema de drenaje actual de la ciudad de Concón, mediante el cual se determinó su respuesta a la escorrentía producida por los eventos de precipitación analizados, a través de lluvias de diseño y se definió la red primaria de evacuación y drenaje de aguas lluvias de la ciudad de Concón.

La modelación numérica de la red de drenaje fue realizada mediante el Software EPA-SWMM (Storm Water Management Model), desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA en sus siglas en inglés) de Estados Unidos. Este software es de distribución gratuita, y puede descargarse directamente del sitio web de la EPA junto con sus manuales de usuario (<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>).

Este modelo permite simular el comportamiento hidrológico e hidráulico de cuencas urbanas, semiurbanas o rurales ya sea en forma continua o para eventos de precipitación específicos. El modelo numérico queda definido por una serie de elementos que permiten representar la hidrología, el patrón de drenaje y el comportamiento hidráulico del área de estudio.

En este contexto, en lo que concierne al presente informe, se considera la utilización del modelo de simulación EPA SWMM para evaluar el comportamiento del Colector Cornisa existente, frente a escenarios de tormentas o lluvias de baja frecuencia. Para lo anterior, se considera la comparación de los resultados que ofrecen los siguientes escenarios:

#### **A. Situación Sin Proyecto Colector Aguas Lluvias Costa de Montemar Sur VI Etapa.**

Se evalúa el comportamiento del Colector Cornisa existente en su situación actual, es decir, sin incorporar el proyecto del colector de aguas lluvia Costa de Montemar Sur VI Etapa, para cuantificar el efecto que tiene en éste el contexto de cambio climático para un evento extremo.



Para esta situación, se consideran los siguientes dos escenarios de precipitación, ambas para un periodo de retorno de 100 años, igual al período de retorno considerado en la minuta que acompaña a ORD 1389/2025 de la DOH Regional, y duración 12 horas, pero de diferentes magnitudes:

- A.1) Sin Cambio Climático:

Se evalúa el sistema con una tormenta con una precipitación máxima diaria obtenida definida del antecedente [Ref. 2] Evaluación de cambio climático severo (RCP 8.5), correspondiente al escenario del periodo histórico (1980-2010), para el percentil P99, sobre la cual se aplica un hietograma (distribución temporal de la lluvia) con el método de los bloques alternos y una duración de 12 horas.

- A.2) Con Cambio Climático:

Se evalúa el sistema con una tormenta con una precipitación máxima diaria obtenida definida del antecedente [Ref. 2] Evaluación de cambio climático severo (RCP 8.5), correspondiente al escenario del periodo futuro (2035-2065), para el percentil P99, sobre la cual se aplica un hietograma (distribución temporal de la lluvia) con el método de los bloques alternos y una duración de 12 horas.

**B. Situación Con Proyecto Colector Aguas Lluvias Costa de Montemar Sur VI Etapa.**

Se evalúa el comportamiento del Colector Cornisa al incorporar en el modelo de simulación EPA SWIMM el proyecto del colector de aguas lluvia Costa de Montemar Sur VI Etapa , el cual captará y descargará en el Colector Cornisa la escorrentía que fluya hacia la extensión de la Avenida Cornisa proyectada.

Para esta situación, se consideran los mismos escenarios de precipitación que en el caso anterior:

- B.1) Sin Cambio Climático.

- B.2) Con Cambio Climático.

En la siguiente Tabla se presenta la identificación de Escenarios descrita anteriormente.

**Tabla 5-1 Identificación de Escenarios a Considerar en la Evaluación**

| ID Escenario   | Sin Proyecto (SP) | Con Proyecto (CP) | Sin Cambio Climático (SCC) | Con Cambio Climático (CCC) | T        | D        |
|----------------|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------|----------|
|                |                   |                   |                            |                            | 100 años | 12 horas |
| SP-SCC_T100D12 | X                 |                   | X                          |                            | X        | X        |
| SP-CCC_T100D12 | X                 |                   |                            | X                          | X        | X        |
| CP-SCC_T100D12 |                   | X                 | X                          |                            | X        | X        |
| CP-CCC_T100D12 |                   | X                 |                            | X                          | X        | X        |

## 5.2 Tormentas de Evaluación en Escenarios Sin Cambio Climático y Con Cambio Climático

### 5.2.1 Duración y Periodo de Retorno de la Tormenta

En el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón se realizó un diagnóstico sobre los colectores de aguas lluvias existentes en el área urbana de la ciudad con el objetivo de identificar puntos críticos, además de los informados por la comunidad. Para ello se evaluaron: caudales, relación altura de flujo / diámetro del colector (h/D), sectores de baja pendiente y velocidades máximas, entre otros. En el diagnóstico se desarrolló un análisis para eventos de tormenta con periodo de retorno (T) de 2 años y duraciones (D) de 1, 6, 12 y 24 horas.

En la Tabla 5-2 se presenta los valores globales del análisis de la red de colectores existentes. De este análisis, en el Plan Maestro se determinó que la tormenta de 12 horas genera las mayores velocidades y alturas de escurrimiento.

**Tabla 5-2 Resultados Generales de Red de Colectores de Concón para Eventos de Tormenta T=2 años y Duraciones de Tormenta D= 1, 6, 12 y 24 horas.**

| Duración Tormenta | Razón h/D <0,8 | Razón h/D <0,4 | En Presión | Velocidad >5m |
|-------------------|----------------|----------------|------------|---------------|
| D1                | 93,4%          | 86,8%          | 4,4%       | 4,4%          |
| D6                | 92,3%          | 76,9%          | 5,5%       | 6,6%          |
| D12               | 92,3%          | 75,8%          | 6,6%       | 6,6%          |
| D24               | 92,3%          | 76,9%          | 6,6%       | 6,6%          |

Fuente: Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Concón, Región de Valparaíso. DOH, 2022.

Por otro lado, en atención a la recomendación del Manual de Carreteras (MC) del Ministerio de Obras Públicas sobre la adopción de periodos de retorno para el diseño de obras hidráulicas (Tabla 5-3), considerando que el Colector Cornisa previo a su descarga al mar atraviesa a la Avenida Borgoño mediante una tubería de diámetro 1,2 m (Alcantarilla de sección útil  $S=1,13 \text{ m}^2$ ) y en donde se tiene un terraplén de altura aproximada de 7,6 m, puede considerarse que dicho tramo del Colector Cornisa debería evaluarse para un periodo de retorno  $T=50$  años. Sin embargo, si se complementa lo anterior con la elevada pendiente que impone la topografía del área donde se ubica el último tramo del colector, se acepta que su evaluación hidráulica se efectúe para  $T=100$  años, periodo de retorno utilizado por la Dirección de Obras Hidráulicas en su análisis de riesgo (Minuta que acompaña a ORD 1389/2025 de la DOH Regional).

En este sentido, cabe precisar la distinción entre una condición de diseño y la de verificación, en donde para esta última se considera que la obra sea capaz para conducir el flujo, pese a que se superen valores máximos admisibles de criterios de diseño, como pueden ser la relación de altura de flujo ( $h/D$ ) o velocidad.

**Tabla 5-3 Periodos de Retorno para Diseño para Obras Hidráulicas**

| Tipo de Obra                                                                                                   | Tipo de Ruta         | Período de Retorno (T, años) |                             | Vida Útil Supuesta (n; años) | Riesgo de Falla (%) |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|--------------|
|                                                                                                                |                      | Diseño <sup>(1)</sup>        | Verificación <sup>(4)</sup> |                              | Diseño              | Verificación |
| Puentes y Viaductos <sup>(1)</sup>                                                                             | Carreteras<br>Camino | 200                          | 300                         | 50                           | 22                  | 15           |
|                                                                                                                |                      | 100                          | 150                         | 50                           | 40                  | 28           |
| Alcantarillas ( $S>1,75 \text{ m}^2$ ) o H terrap. $\geq 10 \text{ m}$ y Estructuras Enterradas <sup>(2)</sup> | Carreteras<br>Camino | 100                          | 150                         | 50                           | 40                  | 28           |
|                                                                                                                |                      | 50                           | 100                         | 30                           | 45                  | 26           |
| Alcantarillas ( $S<1,75 \text{ m}^2$ )                                                                         | Carreteras<br>Camino | 50                           | 100                         | 50                           | 64                  | 40           |
|                                                                                                                |                      | 25                           | 50                          | 30                           | 71                  | 45           |
| Drenaje de la Plataforma                                                                                       | Carreteras<br>Camino | 10                           | 25                          | 10                           | 65                  | 34           |
|                                                                                                                |                      | 5                            | 10                          | 5                            | 67                  | 41           |
| Defensas de Riberas                                                                                            | Carreteras<br>Camino | 100                          | -                           | 20                           | 18                  | -            |
|                                                                                                                |                      | 100                          | -                           | 20                           | 18                  | -            |

S = Sección útil de la alcantarilla

(1) En el caso de Viaductos el cálculo de caudales en crecida esta destinado a calcular la socavación en las fundaciones de las Pilas. Iguales T se emplearán para el cálculo de socavaciones en puentes.

(2) Las Alcantarillas de drenaje construidas bajo terraplenes de altura  $\geq 10 \text{ m}$  deben diseñarse para estos Periodos de Retorno, cualesquiera que sea su Sección. En esta misma categoría se clasificarán las estructuras proyectadas bajo el nivel del terreno natural circundante, destinadas al cruce desnivelado de dos vías.

(3) Para la etapa de diseño de puentes y defensas de ribera, la revancha mínima asociada a la cota de aguas máximas para el periodo de retorno de diseño debe ser de 1,0 m.

(4) Para la verificación hidráulica de Puentes se considerará que la revancha asociada a la cota de aguas máximas para el periodo de retorno de verificación puede reducirse a 0,30 m. Para la Verificación de Alcantarillas – Ver 3.703.301(2).

Fuente: Tabla 3.702.2.B, Volumen N°3 Instrucciones y Criterios de Diseño, Manual de Carreteras, Ministerio de Obras Públicas. 2020.

Adicionalmente, para seleccionar la duración de la tormenta a aplicar, en el presente estudio se comparó la respuesta del Colector Cornisa considerando una lluvia máxima diaria del estudio de GAC [Ref.2] , correspondiente a duración 24 horas (T100D24), y una lluvia máxima de 12 horas de duración (T100D12), obtenida mediante la aplicación de coeficientes de duración. Luego de definió el hietograma, es decir, la distribución temporal de la precipitación de cada tormenta, y de la modelación EPA SWMM se obtuvo que con una tormenta con duración 12 horas el Colector Cornisa presenta, ligeramente, un mayor caudal y velocidad que el caso de tormenta con duración 24 horas.

En función de lo anterior y el interés de evaluar el contexto de cambio climático en un caso de tormenta de baja frecuencia, en la presente evaluación se considera una tormenta con periodo de retorno 100 años (correspondiente a una probabilidad de excedencia de 1%) y duración 12 horas.

Para definir la precipitación acumulada de una lluvia con duración 12 horas se aplican coeficientes de duración sobre una lluvia con duración 24 horas. En este estudio se aplican los coeficientes de duración utilizados en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón los que se presentan en la siguiente Tabla.

**Tabla 5-4 Coeficiente de Duración (CD) Lago Peñuelas, Región de Valparaíso.**

| T<br>(años) | 1 h  | 2 h  | 4 h  | 6 h  | 8 h  | 10 h | 12 h | 14 h | 18 h | 24 h |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2           | 0,16 | 0,25 | 0,40 | 0,52 | 0,61 | 0,70 | 0,74 | 0,78 | 0,87 | 1,00 |
| 5           | 0,14 | 0,23 | 0,38 | 0,51 | 0,61 | 0,68 | 0,74 | 0,79 | 0,88 | 1,00 |
| 10          | 0,13 | 0,21 | 0,37 | 0,49 | 0,59 | 0,67 | 0,74 | 0,79 | 0,89 | 1,00 |
| 20          | 0,12 | 0,19 | 0,35 | 0,47 | 0,58 | 0,66 | 0,74 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| 25          | 0,11 | 0,19 | 0,34 | 0,46 | 0,58 | 0,65 | 0,74 | 0,80 | 0,91 | 1,00 |
| 50          | 0,10 | 0,17 | 0,32 | 0,44 | 0,57 | 0,64 | 0,73 | 0,80 | 0,92 | 1,00 |
| 100         | 0,09 | 0,16 | 0,30 | 0,42 | 0,55 | 0,63 | 0,73 | 0,81 | 0,93 | 1,00 |

Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón.

De igual forma, para definir los hietogramas y generar los pulsos de precipitación para tiempos menores a una hora, en el Plan Maestro de Aguas Lluvias se aplicaron los coeficientes de duración de Bell (1965), definidos como sigue:

$$P_t^T = P_1^{10} * CD_t * CF_T$$

Donde:

$P_t^T$  = Precipitación de duración t minutos y periodo de retorno T

$CD = (0.54 t^{0.25} - 0.5)$  = Coeficiente de duración de Bell, donde t es la duración en minutos.

$P_1^{10}$  = Precipitación de 1 hora de duración y 10 años de periodo de retorno.

$CF_T$  = Coeficiente de frecuencia de Bell, definido como:

$$CF_T = 0.21 * \ln(T) + 0.52$$

Donde: T= periodo de retorno en años.

En las siguientes Tablas se presenta los coeficientes de duración aplicados tanto para las duraciones de 1 a 24 horas, y duraciones de 10 min a 60 min.

**Tabla 5-5 Coeficientes de Duración (CD) aplicados para T=100 años, lluvias de duración entre 1 y 24 horas.**

|                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Duración (min)   | 60   | 120  | 240  | 360  | 480  | 600  | 720  | 840  | 1080 | 1440 |
| Duración (horas) | 1    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   | 18   | 24   |
| CD               | 0.09 | 0.16 | 0.30 | 0.42 | 0.55 | 0.63 | 0.73 | 0.81 | 0.93 | 1.00 |

**Tabla 5-6 Coeficientes de Duración (CD) aplicados para lluvias de duración entre 10 y 60 min**

|                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Duración (min)   | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   |
| Duración (horas) | 0.17 | 0.25 | 0.33 | 0.42 | 0.50 | 0.58 | 0.67 | 0.75 | 0.83 | 0.92 | 1.00 |
| CD, según Bell   | 0.46 | 0.56 | 0.64 | 0.71 | 0.76 | 0.81 | 0.86 | 0.90 | 0.94 | 0.97 | 1.00 |

### 5.2.2 Definición de Tormentas

En función del objetivo del presente estudio y de los resultados obtenidos en el antecedente [Ref. 2] Evaluación de Cambio Climático Bajo Escenario RCP 8.5. Adenda Complementaria Estudio “Urbanización y Loteo Costa de Montemar VI Etapa”, Comuna de Concón, Región de Valparaíso, elaborado por Gestión Ambiental Consultores S.A. (GAC, 2023), resulta de interés lo correspondiente a las variables de precipitación, específicamente la lluvia máxima diaria.

Considerando que se busca evaluar un evento de baja probabilidad de ocurrencia, se destaca el **análisis de extremos de distribución de variables** descrito por GAC (2023): *“se incluyó un análisis que permite establecer las proyecciones de variables climáticas a distintas probabilidades de ocurrencia. Para lo anterior, en cada variable se obtuvieron todas las combinaciones posibles de años y modelos de circulación global en cada período. Es decir, se obtuvieron 2070 posibles combinaciones de resultados a partir de las 69 simulaciones y 30 años, tanto para el período histórico como para el período futuro. Los resultados fueron organizados como una función de probabilidad, identificando el valor medio y los valores de percentiles 1, 5, 10, 25, 75, 90, 95 y 99 a lo largo de esa distribución. Lo anterior permite estimar cuál es el valor de la variable que, de acuerdo con los modelos de circulación global disponibles en ARCLim, se presentaría en promedio y para los distintos percentiles, otorgando mayor claridad sobre valores que se presentan en la cola inferior y superior de la distribución de cada variable y que no son recogidos en el análisis en base a valores medios”*.

En la siguiente **Tabla 5-7** se recuerdan los resultados obtenidos por GAC en el análisis de valores extremos, indicados en el apartado 4.2, en donde se destaca que para la lluvia máxima diaria y para el percentil 99%, un valor histórico de 118,19 mm y un valor futuro de 124,78 mm, lo que representa, como se indicó previamente, un aumento del 5,6%.

En la **Tabla 5-7** se presenta también una comparación de los resultados entre GAC y el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón. En el Plan Maestro, en el análisis de estaciones pluviométricas (8 estaciones), mediante análisis de frecuencia obtuvo valores de precipitación máxima T=100 años y D=24 horas entre un rango de 143 y 303 mm (factores de 1,21 y 2,56 veces con respecto al valor histórico GAC-2023). Para el caso de precipitación máxima de T=2 años y D=24 horas, el Plan Maestro obtuvo un rango entre 55 y 112 mm (factores de 1,00 y 2,05 veces con respecto al valor histórico GAC-2023).

Las diferencias de resultados entre estos estudios se consideran aceptables, por cuanto estas se atribuyen a uso de distintas metodologías, aplicación de diversas distribuciones de probabilidad y definición de criterios objetivos de autores.

**Tabla 5-7 Comparación de Resultados de Precipitación Máxima Diaria**

| Percentil y Periodo de Retorno                         | Escenario de Cambio Climático Severo RCP8.5 |                     |             | Plan Maestro Con-Con       |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|-------------|----------------------------|
|                                                        | Histórico (1)<br>1980-2010                  | Futuro<br>2035-2065 | Variación   | Histórico (2)<br>1971-2016 |
| Valor Medio ~ T= 2 años ( $P(x \geq X)=50\%$ )         | 54,73                                       | 53,88               | -1,6%       | 57                         |
| <b>P99 ~ T=100 años (<math>P(x \geq X)=1\%</math>)</b> | <b>118,19</b>                               | <b>124,78</b>       | <b>5,6%</b> | <b>260,3</b>               |

Notas:

(1) Subcuenca costera Río Aconcagua entre Estero Limache y desembocadura. Análisis de extremos de distribución de variables.

(2) Análisis de estaciones Lago Peñuelas y Rodelillo. En análisis de frecuencia, aplica factor (p. máxima 24 h) / (p. máxima diaria)=1,13 y definen ajuste para curvas IDF.

Luego, las precipitaciones para las tormentas con duración de 12 horas para los escenarios Sin Cambio Climático y Con Cambio Climático, se obtienen de la aplicación de del coeficiente de duración correspondiente ( $CD = 0,73$ ) sobre los valores de precipitación para los periodos histórico y futuro, respectivamente. De lo anterior resulta lo siguiente:

Tormenta Escenario Sin Cambio Climático, T100D12 : 86,28 mm

Tormenta Escenario Con Cambio Climático, T100D12 : 91,09 mm



### 5.2.2.1 Tormenta en Escenario Sin Cambio Climático

Para caracterizar por completo la tormenta del escenario Sin Cambio Climático es necesario definir el hietograma de la tormenta. Un hietograma corresponde a la distribución de agua de lluvia caída en la duración de la lluvia. Para la definición del hietograma se aplica el método de bloques alternos, considerando intervalos de pulsos de lluvia de 10 minutos.

Para la construcción del hietograma se calcula la curva IDF (Intensidad – Duración - Frecuencia) para el periodo de retorno de 100 años, para lo que se ha aplicado una curva del tipo potencial de la siguiente forma:

$$I_{t,T} = a \cdot t^b \quad [1]$$

donde:

$I_{t,T}$  : Intensidad de la precipitación en [mm/h] para una lluvia de duración  $t$  y período de retorno  $T$ .

$t$  : Duración de la precipitación (horas).

$T$  : Período de retorno (años).

$a, b$  : Constantes que dependen de  $T$  y  $t$ .

Los valores de las constantes  $a$  y  $b$  se determinan mediante el método de los mínimos cuadrados, para las series de intensidades asociadas a un mismo periodo de retorno, y diferenciando entre rangos de duración.

A partir de la precipitación para la tormenta del periodo con periodo de retorno de 100 y duración 24 horas para el periodo histórico, correspondiente a  $P=118,19$  mm y la aplicación de los coeficientes de duración de las Tablas 5-5 y 5-6, se calculan las constantes  $a$  y  $b$ .

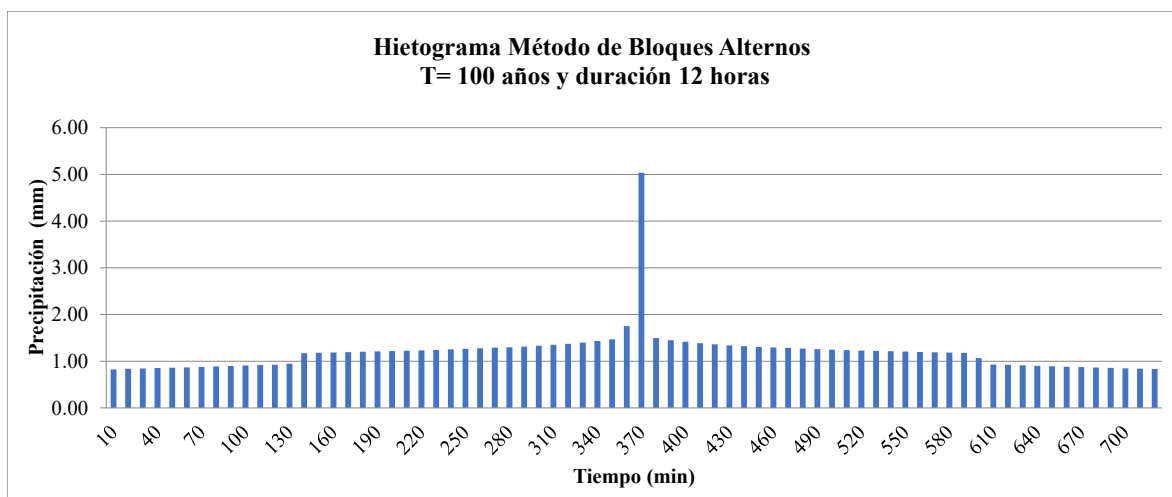
Los valores de las constantes de  $a$  y  $b$ , de la ecuación [1], para los rangos 10 – 60 min , 1 – 8 horas, 8-12 horas y 12-24 horas 2 – 24 h, se muestran en siguiente Tabla.

**Tabla 5-8 Constantes a y b de Curva IDF, T=100 años, Escenario Sin Cambio Climático**

| Rango Duración | a      | b      |
|----------------|--------|--------|
| 10-60 min      | 10.822 | -0.569 |
| 1 - 8 horas    | 10.523 | -0.129 |
| 8- 12 horas    | 15.231 | -0.305 |
| 12- 24 horas   | 28.585 | -0.546 |

El método de los bloques alternos utiliza las curvas IDF, de las cuales se obtiene la profundidad de precipitación que ocurre en “n” intervalos de tiempo sucesivos de duración  $\Delta t$  sobre una duración total de  $n * \Delta t$ . Una vez calculadas las profundidades de precipitación para cada duración (intensidad x duración), se calculan las diferencias incrementales entre tiempos sucesivos. Las precipitaciones incrementales son reordenadas en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida, y que los demás bloques se ordenen descendientemente en forma alternada hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño.

Aplicando el método de los bloques alternos, se obtiene el hietograma de la tormenta para el escenario **Sin Cambio Climático**, con periodo de retorno de 100 años y duración 12 horas, correspondiente a una precipitación de 86,28 mm. En la siguiente Figura y Tabla se presenta la forma y valores de este hietograma.



**Figura 5-1 Hietograma de la Tormenta Escenario Sin Cambio Climático, T100 D12, Precipitación : 86,28 mm.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-9 Hietograma de Tormenta Escenario Sin Cambio Climático,  
T=100 años, D=12 horas, Precipitación: 86,28 mm.**

| Tiempo<br>(min) | Orden<br>Nº | Duración<br>(min) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>(mm/h) | Tiempo<br>(min) | Orden<br>Nº | Duración<br>(min) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>(mm/h) |
|-----------------|-------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| 0 - 10          | 72          | 10                | 0.82                  | 4.94                 | 360 - 370       | 1           | 370               | 5.04                  | 30.21                |
| 10 - 20         | 70          | 20                | 0.84                  | 5.03                 | 370 - 380       | 3           | 380               | 1.50                  | 8.97                 |
| 20 - 30         | 68          | 30                | 0.85                  | 5.07                 | 380 - 390       | 5           | 390               | 1.45                  | 8.70                 |
| 30 - 40         | 66          | 40                | 0.85                  | 5.12                 | 390 - 400       | 7           | 400               | 1.41                  | 8.49                 |
| 40 - 50         | 64          | 50                | 0.86                  | 5.17                 | 400 - 410       | 9           | 410               | 1.39                  | 8.32                 |
| 50 - 60         | 62          | 60                | 0.87                  | 5.22                 | 410 - 420       | 11          | 420               | 1.36                  | 8.17                 |
| 60 - 70         | 60          | 70                | 0.88                  | 5.27                 | 420 - 430       | 13          | 430               | 1.34                  | 8.04                 |
| 70 - 80         | 58          | 80                | 0.89                  | 5.32                 | 430 - 440       | 15          | 440               | 1.32                  | 7.93                 |
| 80 - 90         | 56          | 90                | 0.90                  | 5.38                 | 440 - 450       | 17          | 450               | 1.31                  | 7.83                 |
| 90 - 100        | 54          | 100               | 0.91                  | 5.44                 | 450 - 460       | 19          | 460               | 1.30                  | 7.78                 |
| 100 - 110       | 52          | 110               | 0.92                  | 5.50                 | 460 - 470       | 21          | 470               | 1.28                  | 7.70                 |
| 110 - 120       | 50          | 120               | 0.92                  | 5.54                 | 470 - 480       | 23          | 480               | 1.27                  | 7.62                 |
| 120 - 130       | 48          | 130               | 0.94                  | 5.66                 | 480 - 490       | 25          | 490               | 1.26                  | 7.55                 |
| 130 - 140       | 46          | 140               | 1.18                  | 7.05                 | 490 - 500       | 27          | 500               | 1.25                  | 7.49                 |
| 140 - 150       | 44          | 150               | 1.18                  | 7.09                 | 500 - 510       | 29          | 510               | 1.24                  | 7.42                 |
| 150 - 160       | 42          | 160               | 1.19                  | 7.13                 | 510 - 520       | 31          | 520               | 1.23                  | 7.37                 |
| 160 - 170       | 40          | 170               | 1.20                  | 7.17                 | 520 - 530       | 33          | 530               | 1.22                  | 7.33                 |
| 170 - 180       | 38          | 180               | 1.20                  | 7.22                 | 530 - 540       | 35          | 540               | 1.21                  | 7.29                 |
| 180 - 190       | 36          | 190               | 1.21                  | 7.26                 | 540 - 550       | 37          | 550               | 1.21                  | 7.24                 |
| 190 - 200       | 34          | 200               | 1.22                  | 7.31                 | 550 - 560       | 39          | 560               | 1.20                  | 7.19                 |
| 200 - 210       | 32          | 210               | 1.22                  | 7.34                 | 560 - 570       | 41          | 570               | 1.19                  | 7.15                 |
| 210 - 220       | 30          | 220               | 1.23                  | 7.40                 | 570 - 580       | 43          | 580               | 1.18                  | 7.11                 |
| 220 - 230       | 28          | 230               | 1.24                  | 7.45                 | 580 - 590       | 45          | 590               | 1.18                  | 7.07                 |
| 230 - 240       | 26          | 240               | 1.25                  | 7.52                 | 590 - 600       | 47          | 600               | 1.07                  | 6.40                 |
| 240 - 250       | 24          | 250               | 1.26                  | 7.59                 | 600 - 610       | 49          | 610               | 0.93                  | 5.57                 |
| 250 - 260       | 22          | 260               | 1.28                  | 7.66                 | 610 - 620       | 51          | 620               | 0.92                  | 5.53                 |
| 260 - 270       | 20          | 270               | 1.29                  | 7.74                 | 620 - 630       | 53          | 630               | 0.91                  | 5.47                 |
| 270 - 280       | 18          | 280               | 1.30                  | 7.78                 | 630 - 640       | 55          | 640               | 0.90                  | 5.41                 |
| 280 - 290       | 16          | 290               | 1.31                  | 7.88                 | 640 - 650       | 57          | 650               | 0.89                  | 5.35                 |
| 290 - 300       | 14          | 300               | 1.33                  | 7.98                 | 650 - 660       | 59          | 660               | 0.88                  | 5.30                 |
| 300 - 310       | 12          | 310               | 1.35                  | 8.10                 | 660 - 670       | 61          | 670               | 0.87                  | 5.24                 |
| 310 - 320       | 10          | 320               | 1.37                  | 8.24                 | 670 - 680       | 63          | 680               | 0.87                  | 5.19                 |
| 320 - 330       | 8           | 330               | 1.40                  | 8.40                 | 680 - 690       | 65          | 690               | 0.86                  | 5.14                 |
| 330 - 340       | 6           | 340               | 1.43                  | 8.59                 | 690 - 700       | 67          | 700               | 0.85                  | 5.10                 |
| 340 - 350       | 4           | 350               | 1.47                  | 8.83                 | 700 - 710       | 69          | 710               | 0.84                  | 5.05                 |
| 350 - 360       | 2           | 360               | 1.75                  | 10.52                | 710 - 720       | 71          | 720               | 0.83                  | 5.01                 |

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.2 Tormenta en Escenario Con Cambio Climático

Para definir la tormenta en el escenario Con Cambio Climático, de igual forma que el caso anterior, se calcula la curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) para el escenario Con Cambio Climático.

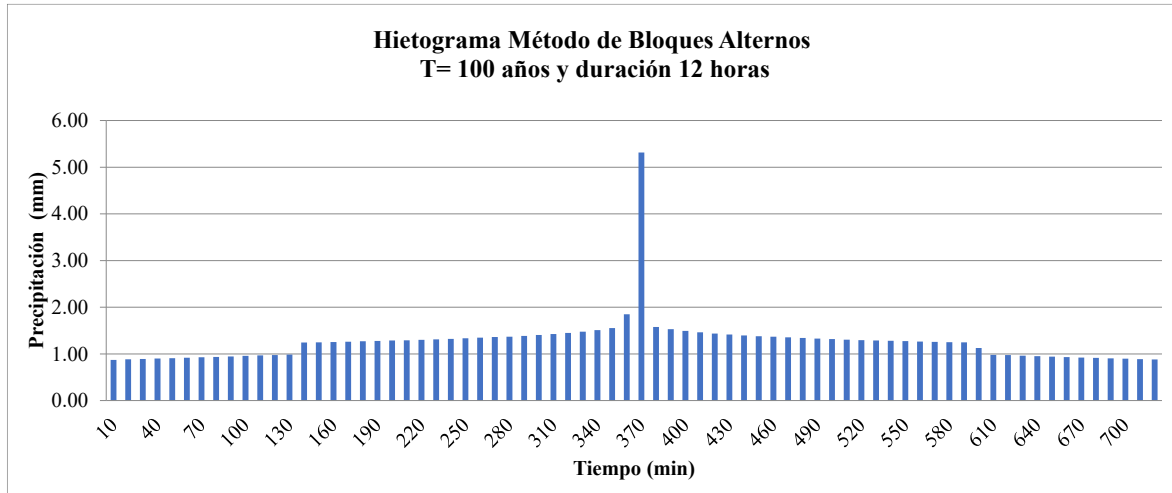
A partir de la precipitación para la tormenta del periodo con periodo de retorno de 100 y duración 24 horas para el periodo futuro, correspondiente a  $P=124,78$  mm y la aplicación de los coeficientes de duración de las Tablas 5-5 y 5-6, se calculan las constantes  $a$  y  $b$  de la ecuación [1] para los rangos 10 – 60 min , 1 – 8 horas, 8-12 horas y 12-24 horas 2 – 24 h.

Los valores de las constantes de  $a$  y  $b$  de la ecuación [1], calculadas mediante el método de los mínimos cuadrados para este escenario se muestran en siguiente Tabla.

**Tabla 5-10 Constantes  $a$  y  $b$  de Curva IDF,  $T=100$  años, Escenario Con Cambio Climático**

| Rango Duración | $a$    | $b$    |
|----------------|--------|--------|
| 10-60 min      | 11.426 | -0.569 |
| 1 - 8 horas    | 11.110 | -0.129 |
| 8- 12 horas    | 16.080 | -0.305 |
| 12- 24 horas   | 30.179 | -0.546 |

Aplicando el método de los bloques alternos, se obtiene el hietograma de la tormenta para el escenario **Con Cambio Climático**, con periodo de retorno de 100 años y duración 12 horas, correspondiente a una precipitación de 91,09 mm. En la siguiente Figura y Tabla se presenta la forma y valores de este hietograma.



**Figura 5-2 Hietograma de la Tormenta Escenario Con Cambio Climático, T100 D12,**  
**Precipitación : 91,09 mm.**

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5-11 Hietograma de Tormenta Escenario Con Cambio Climático**  
**T=100 años, D=12 horas, Precipitación: 91,09 mm.**

| Tiempo<br>(min) | Orden<br>N° | Duración<br>(min) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>(mm/h) | Tiempo<br>(min) | Orden<br>N° | Duración<br>(min) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>(mm/h) |
|-----------------|-------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| 0 - 10          | 72          | 10                | 0.87                  | 5.22                 | 360 - 370       | 1           | 370               | 5.32                  | 31.90                |
| 10 - 20         | 70          | 20                | 0.88                  | 5.31                 | 370 - 380       | 3           | 380               | 1.58                  | 9.47                 |
| 20 - 30         | 68          | 30                | 0.89                  | 5.36                 | 380 - 390       | 5           | 390               | 1.53                  | 9.19                 |
| 30 - 40         | 66          | 40                | 0.90                  | 5.41                 | 390 - 400       | 7           | 400               | 1.49                  | 8.96                 |
| 40 - 50         | 64          | 50                | 0.91                  | 5.46                 | 400 - 410       | 9           | 410               | 1.46                  | 8.78                 |
| 50 - 60         | 62          | 60                | 0.92                  | 5.51                 | 410 - 420       | 11          | 420               | 1.44                  | 8.62                 |
| 60 - 70         | 60          | 70                | 0.93                  | 5.56                 | 420 - 430       | 13          | 430               | 1.42                  | 8.49                 |
| 70 - 80         | 58          | 80                | 0.94                  | 5.62                 | 430 - 440       | 15          | 440               | 1.40                  | 8.37                 |
| 80 - 90         | 56          | 90                | 0.95                  | 5.68                 | 440 - 450       | 17          | 450               | 1.38                  | 8.27                 |
| 90 - 100        | 54          | 100               | 0.96                  | 5.74                 | 450 - 460       | 19          | 460               | 1.37                  | 8.21                 |
| 100 - 110       | 52          | 110               | 0.97                  | 5.81                 | 460 - 470       | 21          | 470               | 1.35                  | 8.13                 |
| 110 - 120       | 50          | 120               | 0.98                  | 5.85                 | 470 - 480       | 23          | 480               | 1.34                  | 8.05                 |
| 120 - 130       | 48          | 130               | 0.99                  | 5.91                 | 480 - 490       | 25          | 490               | 1.33                  | 7.97                 |
| 130 - 140       | 46          | 140               | 1.24                  | 7.46                 | 490 - 500       | 27          | 500               | 1.32                  | 7.90                 |
| 140 - 150       | 44          | 150               | 1.25                  | 7.49                 | 500 - 510       | 29          | 510               | 1.31                  | 7.84                 |
| 150 - 160       | 42          | 160               | 1.25                  | 7.53                 | 510 - 520       | 31          | 520               | 1.30                  | 7.78                 |
| 160 - 170       | 40          | 170               | 1.26                  | 7.57                 | 520 - 530       | 33          | 530               | 1.29                  | 7.74                 |
| 170 - 180       | 38          | 180               | 1.27                  | 7.62                 | 530 - 540       | 35          | 540               | 1.28                  | 7.70                 |
| 180 - 190       | 36          | 190               | 1.28                  | 7.67                 | 540 - 550       | 37          | 550               | 1.27                  | 7.64                 |
| 190 - 200       | 34          | 200               | 1.29                  | 7.72                 | 550 - 560       | 39          | 560               | 1.27                  | 7.60                 |
| 200 - 210       | 32          | 210               | 1.29                  | 7.75                 | 560 - 570       | 41          | 570               | 1.26                  | 7.55                 |
| 210 - 220       | 30          | 220               | 1.30                  | 7.81                 | 570 - 580       | 43          | 580               | 1.25                  | 7.51                 |
| 220 - 230       | 28          | 230               | 1.31                  | 7.87                 | 580 - 590       | 45          | 590               | 1.25                  | 7.48                 |

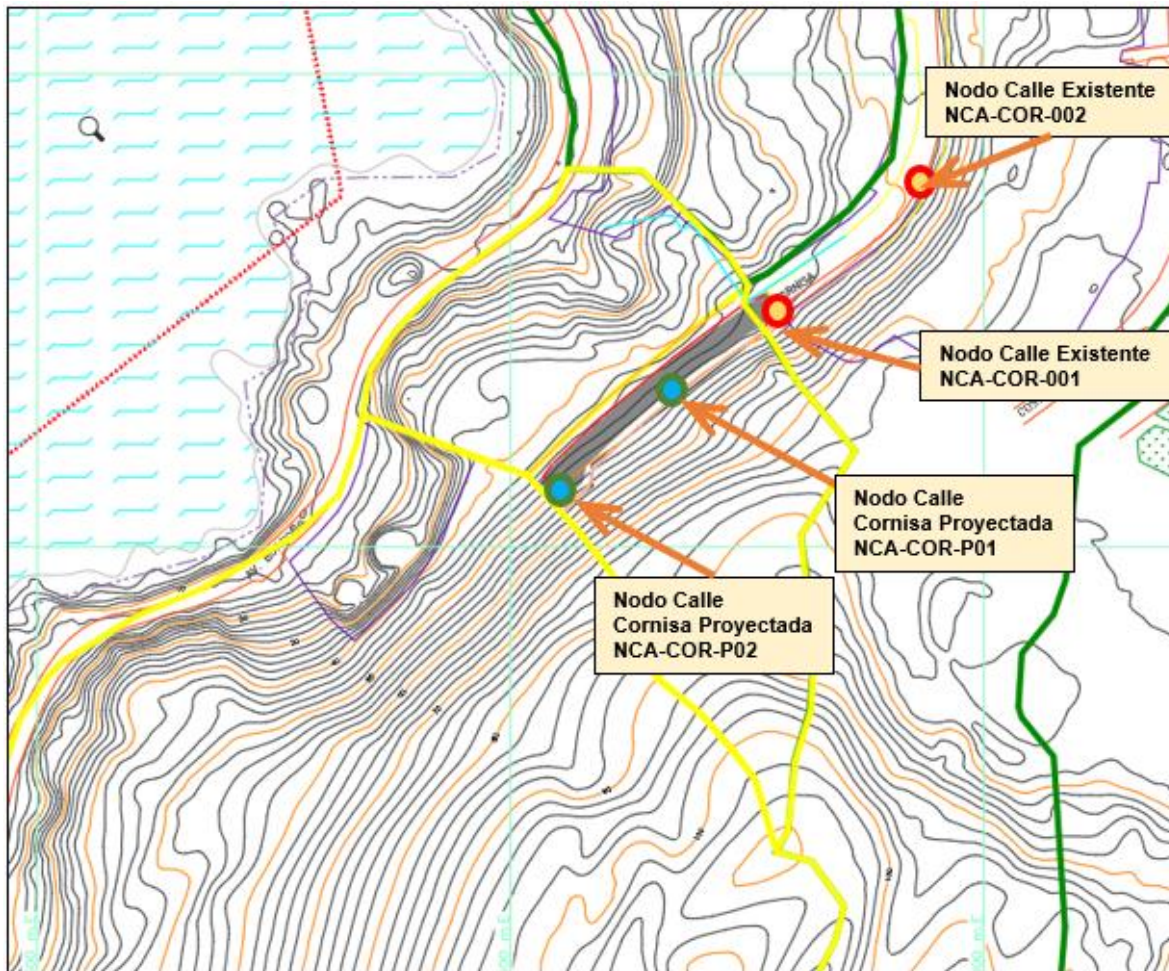
| Tiempo<br>(min) | Orden<br>N° | Duración<br>(min) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>(mm/h) | Tiempo<br>(min) | Orden<br>N° | Duración<br>(min) | Precipitación<br>(mm) | Intensidad<br>(mm/h) |
|-----------------|-------------|-------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| 230 - 240       | 26          | 240               | 1.32                  | 7.94                 | 590 - 600       | 47          | 600               | 1.13                  | 6.76                 |
| 240 - 250       | 24          | 250               | 1.33                  | 8.01                 | 600 - 610       | 49          | 610               | 0.98                  | 5.88                 |
| 250 - 260       | 22          | 260               | 1.35                  | 8.09                 | 610 - 620       | 51          | 620               | 0.97                  | 5.84                 |
| 260 - 270       | 20          | 270               | 1.36                  | 8.17                 | 620 - 630       | 53          | 630               | 0.96                  | 5.78                 |
| 270 - 280       | 18          | 280               | 1.37                  | 8.22                 | 630 - 640       | 55          | 640               | 0.95                  | 5.71                 |
| 280 - 290       | 16          | 290               | 1.39                  | 8.32                 | 640 - 650       | 57          | 650               | 0.94                  | 5.65                 |
| 290 - 300       | 14          | 300               | 1.40                  | 8.43                 | 650 - 660       | 59          | 660               | 0.93                  | 5.59                 |
| 300 - 310       | 12          | 310               | 1.43                  | 8.56                 | 660 - 670       | 61          | 670               | 0.92                  | 5.54                 |
| 310 - 320       | 10          | 320               | 1.45                  | 8.70                 | 670 - 680       | 63          | 680               | 0.91                  | 5.48                 |
| 320 - 330       | 8           | 330               | 1.48                  | 8.87                 | 680 - 690       | 65          | 690               | 0.91                  | 5.43                 |
| 330 - 340       | 6           | 340               | 1.51                  | 9.07                 | 690 - 700       | 67          | 700               | 0.90                  | 5.38                 |
| 340 - 350       | 4           | 350               | 1.55                  | 9.32                 | 700 - 710       | 69          | 710               | 0.89                  | 5.33                 |
| 350 - 360       | 2           | 360               | 1.85                  | 11.11                | 710 - 720       | 71          | 720               | 0.88                  | 5.29                 |

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 Modelación Hidrológica-Hidráulica SWMM Con Proyecto Aguas Lluvias Costa de Montemar VI Etapa

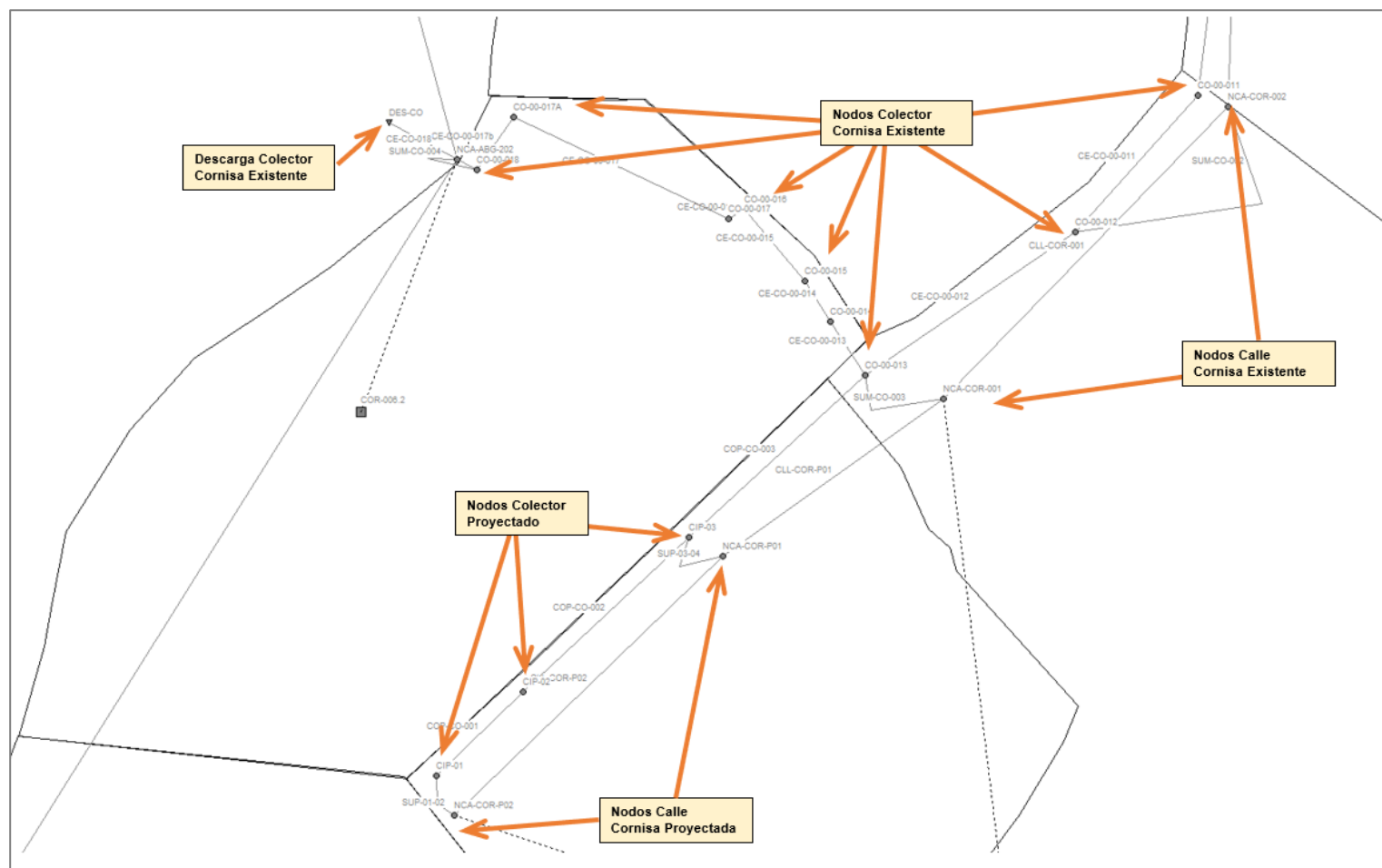
En la evaluación de la situación con proyecto, en la modelación hidrológica – hidráulica en el software EPA SWMM se implementa el proyecto del colector de aguas lluvias Costa de Montemar VI Etapa, correspondiente a sus elementos de cámaras de inspección, tramos de colector y elementos que representan sumideros (Figuras 5-3 y 5-4).

Adicionalmente, se implementa la extensión de la Av. Cornisa, y se actualizan los límites de las subcuencas aportantes y sus correspondientes nuevos parámetros.



**Figura 5-3 Actualización de subcuencas para Situación Con Proyecto.**





**Figura 5-4 Implementación del Colector Projectado y Calle Projectada en Modelación SWMM.**

**Tabla 5-12 Actualización de subcuencas aportantes al incorporar proyecto Colector Montemar VI Etapa**

| <b>Sin Proyecto Colector Aguas Lluvias</b> |                           |             |           |                                                           |
|--------------------------------------------|---------------------------|-------------|-----------|-----------------------------------------------------------|
| Subcuenca                                  | Descripción               | Outlet      | Área (ha) |                                                           |
| COR-006                                    | Aportante a Av. Borgoño   | NCA-ABG-202 | 1.45      |                                                           |
| DUN-001                                    | Aportante a Av. Borgoño   | NCA-ABG-201 | 33.08     |                                                           |
| Total                                      |                           |             | 34.53     |                                                           |
| <b>Con Proyecto Colector Aguas Lluvias</b> |                           |             |           |                                                           |
| Subcuenca                                  | Descripción               | Outlet      | Área (ha) | Observación                                               |
| COR-006.1                                  | Aportante a Calle Cornisa | NCA-COR-P02 | 1.52      | Actualiza parte de lo que era COR-006 por límite proyecto |
| COR-006.2                                  | Aportante a Av. Borgoño   | NCA-ABG-202 | 1.14      | Actualiza parte de lo que era COR-006 por límite proyecto |
|                                            | Subtotal                  |             | 2.66      |                                                           |
| DUN-001                                    | Aportante a Av. Borgoño   | NCA-ABG-201 | 31.87     | Actualiza DUN-001 por límite de proyecto                  |
| Total                                      |                           |             | 34.53     |                                                           |

## 6 RESULTADOS DEL MODELO DE SIMULACIÓN

En la presente sección se presentan los resultados obtenidos de los siguientes escenarios de simulación:

- Situación Sin Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático SP-SCC\_T100D12
- Situación Sin Proyecto, Escenario Con Cambio Climático SP-CCC\_T100D12
- Situación Con Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático CP-SCC\_T100D12
- Situación Con Proyecto, Escenario Con Cambio Climático CP-CCC\_T100D12

Las modelaciones EPA SWMM de cada escenario de encuentran en Anexo 1.

### 6.1 Situación Sin Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático

Para la Situación Sin Proyecto Escenario Sin Cambio Climático (SP-SCC), en las siguientes Tablas 6-1 y 6-2, se presentan los resultados de la modelación hidrológica – hidráulica con el software EPA SWMM del Colector Cornisa, para el evento correspondiente a una tormenta con periodo de retorno (T) de 100 años y una duración (D) de 12 horas (evento identificado como T100D12).

Para el escenario SP-SCC-T100D12, el Colector Cornisa transporta en el tramo de pendiente fuerte (entre cámaras CO-00-013 y CO-00-018) un caudal máximo de 254 l/s. En la cámara CO-00-018 del colector, ubicada inmediatamente aguas arriba de su descarga, el colector recibe aportes provenientes de la escorrentía que transporta Av. Borgoño (1l/s), incrementando de este modo la descarga al mar, la que asciende a un caudal de 255 l/s.

Del análisis de los resultados se observa que el tramo del colector CE-CO-00-016, situado en la zona de pendiente fuerte, antes de su descarga en el mar, presenta una velocidad máxima de 6,74 m/s, valor que supera al máximo recomendado de 6,0 m/s. Esta velocidad representa un incremento de 12,3% sobre el máximo recomendado.

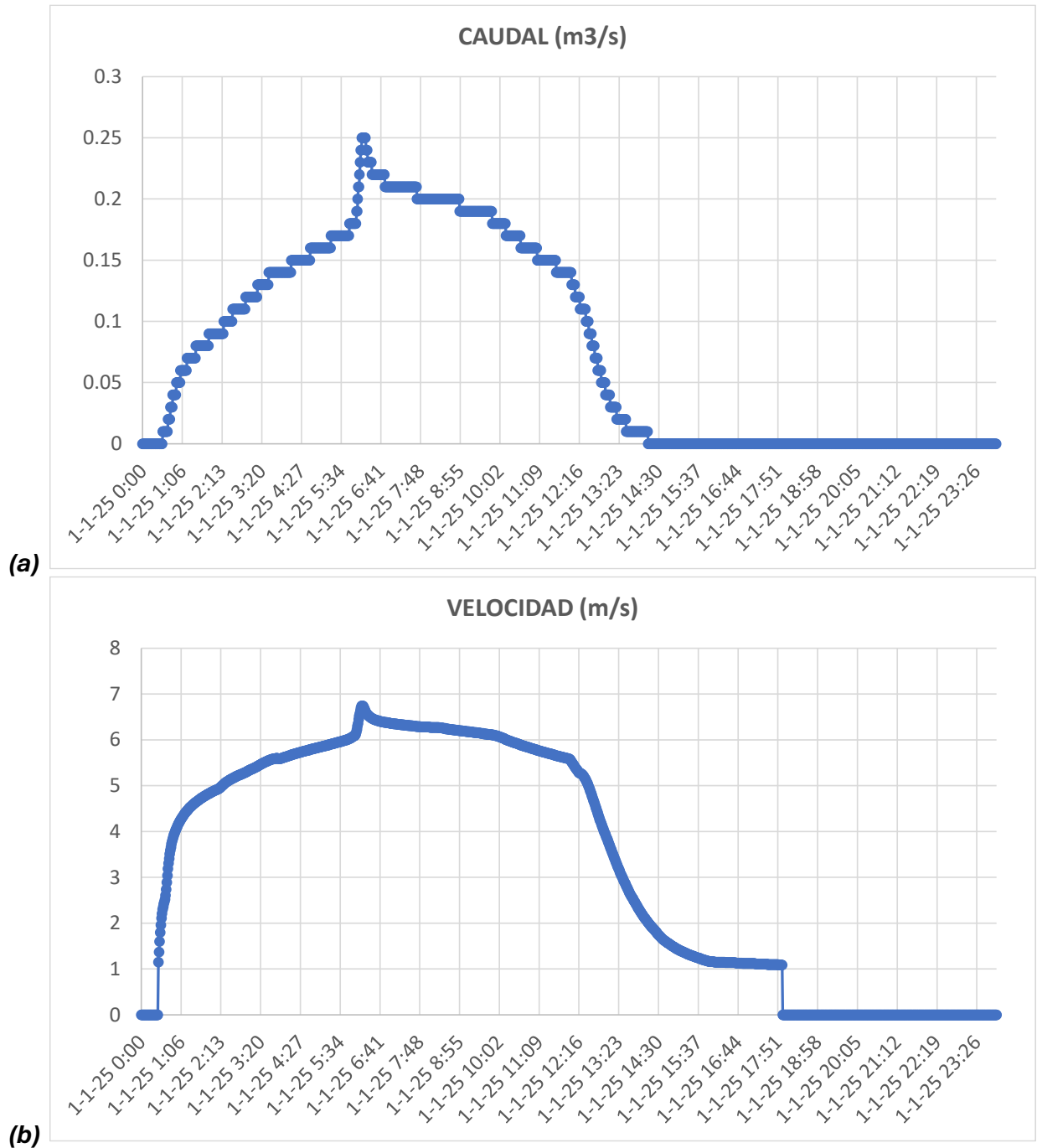
Para complementar lo anterior, en la Figura 6-1 se presenta la gráfica de la evolución temporal del caudal (a) y la velocidad (b) en el tramo de colector CE-CO-00-016. De los resultados de la modelación se cuantifica el tiempo en que se superan los 6,0 m/s, correspondiendo 268 minutos (4,47 horas).

Es necesario indicar también, que la altura del escurrimiento sobre la calle en Av. Cornisa, en las cercanías al proyecto, no superan los 11 cm.

Respecto a la relación altura / diámetro, se observa que cumple en su totalidad la condición  $h/D < 0,8$ .

**Tabla 6-1 Resultados modelación Colector Cornisa para Situación Sin Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático, T=100 años y D=12 horas (SP-SCC T100D12)**

| Tramo Colector      | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | Razón altura / diámetro | Velocidad Máxima | Cámara Inspección | Altura Máxima de Agua |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| Link                |                            | h/D                     | V(m/s)           | Nodo              | hmax (m)              |
| CE-CO-00-001        | 0                          | 0.00                    | 0.00             | CO-00-001         | 0.00                  |
| CE-CO-00-002        | 0                          | 0.00                    | 0.00             | CO-00-002         | 0.00                  |
| CE-CO-00-003        | 0                          | 0.00                    | 0.00             | CO-00-003         | 0.00                  |
| CE-CO-00-004        | 0                          | 0.00                    | 0.00             | CO-00-004         | 0.00                  |
| CE-CO-00-005        | 0                          | 0.09                    | 0.00             | CO-00-005         | 0.00                  |
| CE-CO-00-006        | 0.175                      | 0.27                    | 1.60             | CO-00-006         | 0.19                  |
| CE-CO-00-007        | 0.191                      | 0.31                    | 1.41             | CO-00-007         | 0.25                  |
| CE-CO-00-008        | 0.191                      | 0.32                    | 1.35             | CO-00-008         | 0.26                  |
| CE-CO-00-009        | 0.193                      | 0.37                    | 1.15             | CO-00-009         | 0.33                  |
| CE-CO-00-010        | 0.193                      | 0.26                    | 1.90             | CO-00-010         | 0.20                  |
| CE-CO-00-011        | 0.193                      | 0.25                    | 2.00             | CO-00-011         | 0.20                  |
| CE-CO-00-012        | 0.196                      | 0.27                    | 1.80             | CO-00-012         | 0.22                  |
| CE-CO-00-013        | 0.254                      | 0.12                    | 4.58             | CO-00-013         | 0.12                  |
| CE-CO-00-014        | 0.254                      | 0.11                    | 5.54             | CO-00-014         | 0.11                  |
| CE-CO-00-015        | 0.254                      | 0.12                    | 4.73             | CO-00-015         | 0.12                  |
| <b>CE-CO-00-016</b> | <b>0.254</b>               | <b>0.09</b>             | <b>6.74</b>      | CO-00-016         | 0.10                  |
| CE-CO-00-017        | 0.254                      | 0.14                    | 3.96             | CO-00-017         | 0.11                  |
| CE-CO-00-017b       | 0.254                      | 0.15                    | 3.51             | CO-00-017A        | 0.19                  |
| CE-CO-018           | 0.255                      | 0.09                    | 5.07             | CO-00-018         | 0.11                  |



**Figura 6-1 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo CE-CO-00-016. Tormenta SP-SCC\_T100D12**

**Tabla 6-2 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.**  
**Escenario SP-SCC T100 D12.**

| Punto Calle<br>Nodo | Altura Máxima<br>de Agua<br>hmax (m) |
|---------------------|--------------------------------------|
| NCA-COR-001         | 0.11                                 |
| NCA-COR-002         | 0.02                                 |

## **6.2 Situación Sin Proyecto, Escenario Con Cambio Climático**

Para la Situación Sin Proyecto Escenario Con Cambio Climático (SP-CCC), en las siguientes Tablas 6-3 y 6-4, se presentan los resultados de la modelación hidrológica – hidráulica con el software EPA SWIMM en el Colector Cornisa, para el evento correspondiente a una tormenta con periodo de retorno (T) de 100 años y duración (D) de 12 horas (evento identificado como T100D12 ).

Para el escenario SP-CCC-T100D12, el Colector Cornisa transporta en el tramo de pendiente fuerte previo a su descarga al mar un caudal máximo de 267 l/s, incrementando en 13 l/s con respecto al escenario SP-SCC, lo que implica que el escenario de cambio climático induce un incremento de caudal de 5,1 %.

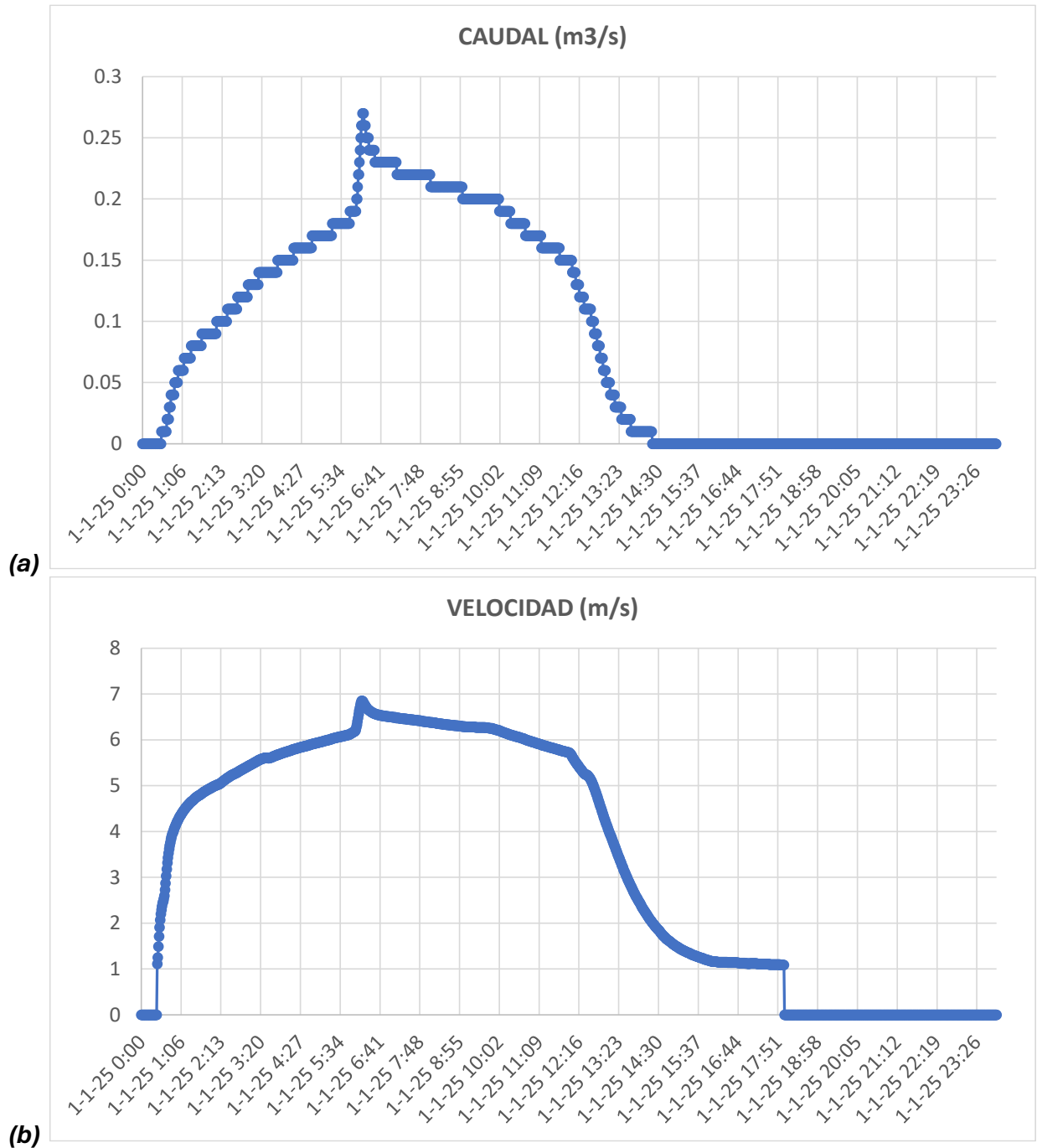
De los resultados se observa que el tramo del colector CE-CO-00-016, situado en el tramo de pendiente fuerte antes de la descarga en el mar, se observa una velocidad máxima de 6,86 m/s, valores que supera al máximo recomendado de 6,0 m/s, con un incremento de 14,3%.

Para complementar lo anterior, en la Figura 6-2 se presenta la gráfica de la evolución temporal del caudal (a) y la velocidad (b) en el tramo de colector CE-CO-00-016. De los resultados de la modelación se cuantifica el tiempo en que se superan los 6,0 m/s, correspondiendo 331 minutos (5,52 horas).

**Tabla 6-3 Resultados modelación Colector Cornisa para Situación Sin Proyecto, Escenario Con Cambio Climático, T=100 años y D=12 horas (SP-CCC T100D12)**

| Tramo Colector      | Caudal (m3/s) | Razón altura /<br>diámetro | Velocidad<br>Máxima | Cámara<br>Inspección | Altura Máxima<br>de Agua |
|---------------------|---------------|----------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| Link                |               | h/D                        | V(m/s)              | Nodo                 | hmax (m)                 |
| CE-CO-00-001        | 0             | 0.00                       | 0.00                | CO-00-001            | 0.00                     |
| CE-CO-00-002        | 0             | 0.00                       | 0.00                | CO-00-002            | 0.00                     |
| CE-CO-00-003        | 0             | 0.00                       | 0.00                | CO-00-003            | 0.00                     |
| CE-CO-00-004        | 0             | 0.00                       | 0.00                | CO-00-004            | 0.00                     |
| CE-CO-00-005        | 0             | 0.09                       | 0.00                | CO-00-005            | 0.00                     |
| CE-CO-00-006        | 0.187         | 0.28                       | 1.63                | CO-00-006            | 0.20                     |
| CE-CO-00-007        | 0.199         | 0.32                       | 1.43                | CO-00-007            | 0.26                     |
| CE-CO-00-008        | 0.199         | 0.33                       | 1.37                | CO-00-008            | 0.27                     |
| CE-CO-00-009        | 0.201         | 0.37                       | 1.17                | CO-00-009            | 0.33                     |
| CE-CO-00-010        | 0.201         | 0.26                       | 1.93                | CO-00-010            | 0.21                     |
| CE-CO-00-011        | 0.201         | 0.25                       | 2.03                | CO-00-011            | 0.20                     |
| CE-CO-00-012        | 0.205         | 0.27                       | 1.82                | CO-00-012            | 0.22                     |
| CE-CO-00-013        | 0.267         | 0.13                       | 4.65                | CO-00-013            | 0.13                     |
| CE-CO-00-014        | 0.267         | 0.11                       | 5.62                | CO-00-014            | 0.11                     |
| CE-CO-00-015        | 0.267         | 0.12                       | 4.80                | CO-00-015            | 0.12                     |
| <b>CE-CO-00-016</b> | <b>0.267</b>  | <b>0.10</b>                | <b>6.86</b>         | CO-00-016            | 0.10                     |
| CE-CO-00-017        | 0.267         | 0.14                       | 4.02                | CO-00-017            | 0.11                     |
| CE-CO-00-017b       | 0.267         | 0.15                       | 3.57                | CO-00-017A           | 0.19                     |
| CE-CO-018           | 0.269         | 0.09                       | 5.15                | CO-00-018            | 0.11                     |





**Figura 6-2 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo CE-CO-00-016. Tormenta SP-CCC\_T100D12**

Respecto a la relación altura / diámetro, se observa que cumple en su totalidad la condición  $h/D < 0,8$ .

También, en este caso, la altura del escurrimiento sobre la calle en Av. Cornisa, en las cercanías al proyecto, no superan los 11 cm.

**Tabla 6-4 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.  
Escenario SP-CCC T100 D12.**

| Punto Calle<br>Nodo | Altura Máxima<br>de Agua<br>hmax (m) |
|---------------------|--------------------------------------|
| NCA-COR-001         | 0.11                                 |
| NCA-COR-002         | 0.02                                 |

### **6.3 Situación Con Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático**

Para la Situación Con Proyecto Escenario Sin Cambio Climático (CP-SCC), en las siguientes Tablas 6-5 y 6-6, se presentan los resultados de la modelación hidrológica – hidráulica con el software EPA SWMM del Colector Cornisa, para el evento de una tormenta de periodo de retorno (T) de 100 años y duración (D) de 12 horas (evento identificado como T100D12 ).

Para el escenario CP-SCC-T100D12, el Colector Cornisa transporta en el tramo de pendiente fuerte previo a su descarga al mar un caudal máximo de 264 l/s, incrementando en 10 l/s su caudal con respecto al escenario SP-SCC, lo que implica que el proyecto induce un incremento de caudal de 3,9%.

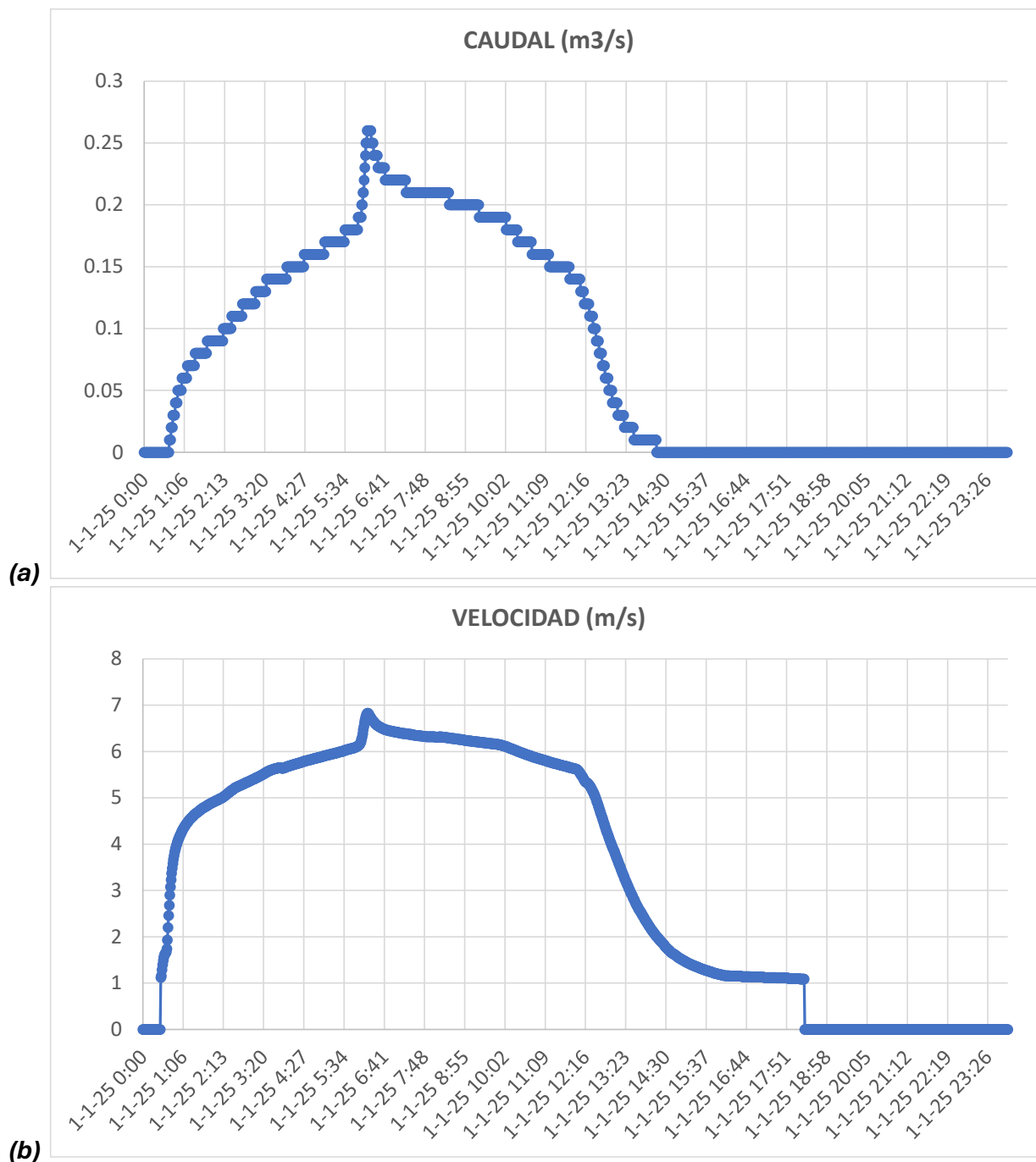
De los resultados se observa que el tramo del colector CE-CO-00-016, situado en el tramo de pendiente fuerte antes de su descarga en el mar, presenta una velocidad máxima de 6,83 m/s, valor superior al máximo recomendado de 6,0 m/s, en un 13,8%.

Para complementar lo anterior, en la Figura 6-3 se presenta la gráfica de la evolución temporal del caudal (a) y la velocidad (b) en el tramo de colector CE-CO-00-016. De los resultados de la modelación se cuantifica el tiempo en que se superan los 6,0 m/s, correspondiendo 293 minutos (4,88 horas).

Respecto a la relación altura / diámetro, se observa que cumple en su totalidad la condición  $h/D < 0,8$ .

**Tabla 6-5 Resultados modelación Colector Cornisa para Situación Con Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático, T=100 años y D=12 horas (CP-SCC T100D12).**

| Tramo Colector<br>Link | Caudal (m3/s) | Razón altura /<br>diámetro<br>h/D | Velocidad<br>Máxima<br>V(m/s) | Cámara<br>Inspección<br>Nodo | Altura Máxima de<br>Agua<br>hmax (m) |
|------------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| CE-CO-00-001           | 0             | 0.00                              | 0.00                          | CO-00-001                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-002           | 0             | 0.00                              | 0.00                          | CO-00-002                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-003           | 0             | 0.00                              | 0.00                          | CO-00-003                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-004           | 0             | 0.00                              | 0.00                          | CO-00-004                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-005           | 0             | 0.09                              | 0.00                          | CO-00-005                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-006           | 0.175         | 0.27                              | 1.60                          | CO-00-006                    | 0.19                                 |
| CE-CO-00-007           | 0.191         | 0.31                              | 1.41                          | CO-00-007                    | 0.25                                 |
| CE-CO-00-008           | 0.191         | 0.32                              | 1.35                          | CO-00-008                    | 0.26                                 |
| CE-CO-00-009           | 0.193         | 0.37                              | 1.15                          | CO-00-009                    | 0.33                                 |
| CE-CO-00-010           | 0.193         | 0.26                              | 1.90                          | CO-00-010                    | 0.20                                 |
| CE-CO-00-011           | 0.193         | 0.25                              | 2.00                          | CO-00-011                    | 0.20                                 |
| CE-CO-00-012           | 0.197         | 0.27                              | 1.80                          | CO-00-012                    | 0.22                                 |
| CE-CO-00-013           | 0.264         | 0.13                              | 4.63                          | CO-00-013                    | 0.13                                 |
| CE-CO-00-014           | 0.264         | 0.11                              | 5.60                          | CO-00-014                    | 0.11                                 |
| CE-CO-00-015           | 0.264         | 0.12                              | 4.79                          | CO-00-015                    | 0.12                                 |
| <b>CE-CO-00-016</b>    | <b>0.264</b>  | <b>0.10</b>                       | <b>6.83</b>                   | CO-00-016                    | 0.10                                 |
| CE-CO-00-017           | 0.264         | 0.14                              | 4.01                          | CO-00-017                    | 0.11                                 |
| CE-CO-00-017b          | 0.264         | 0.15                              | 3.54                          | CO-00-017A                   | 0.19                                 |
| CE-CO-018              | 0.269         | 0.09                              | 5.16                          | CO-00-018                    | 0.11                                 |



**Figura 6-3 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo CE-CO-00-016. Tormenta CP-SCC\_T100D12**

**Tabla 6-6 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.**  
**Escenario CP-SCC T100 D12.**

| Punto Calle<br>Nodo | Cota Rasante | Altura<br>Máxima de<br>Agua<br>hmax (m) |
|---------------------|--------------|-----------------------------------------|
| NCA-COR-002         | 51.27        | 0.02                                    |
| NCA-COR-001         | 47.92        | 0.04                                    |
| NCA-COR-P01         | 46.62        | 0.05                                    |
| NCA-COR-P02         | 45.77        | 0.13                                    |

En este caso la altura de escurrimiento sobre la calle en Av. Cornisa, en las cercanías al proyecto, no superan los 13 cm.

Cabe señalar que los sumideros del proyecto han sido implementados en la modelación SWMM de la misma forma que fueron representados en el Plan Maestro de Aguas Lluvias, esto es, implementados mediante ductos que conectan un nodo calle con un nodo colector. Por lo anterior, si se aumenta la cantidad de sumideros, y consecuentemente su implementación en la modelación, el agua que escurre por la calle debería disminuir (y por consiguiente la altura de agua en ella), toda vez que el colector presenta capacidad disponible, dado que la relación  $h/D$  es menor a 0,80, pese a que las velocidades superen el máximo admisible.

#### **6.4 Situación Con Proyecto, Escenario Con Cambio Climático**

Para la Situación Con Proyecto Escenario Con Cambio Climático (CP-CCC), en las siguientes Tablas 6-7 y 6-8, se presentan los resultados de la modelación hidrológica – hidráulica con el software EPA SWMM en el Colector Cornisa, para el evento de tormenta con periodo de retorno (T) de 100 años y duración (D) de 12 horas (evento identificado como T100D12 ).

Para el escenario CP-CCC-T100D12, el Colector Cornisa transporta en el tramo de pendiente fuerte previo a su descarga al mar un caudal máximo de 276 l/s, incrementando en 9 l/s su caudal con respecto al escenario SP-CCC, lo que implica que el proyecto, en un contexto de cambio climático, induce un incremento de caudal de 3,4%.

De los resultados se observa que el tramo del colector CE-CO-00-016, situado en el tramo de pendiente fuerte antes de su descarga en el mar, presenta una

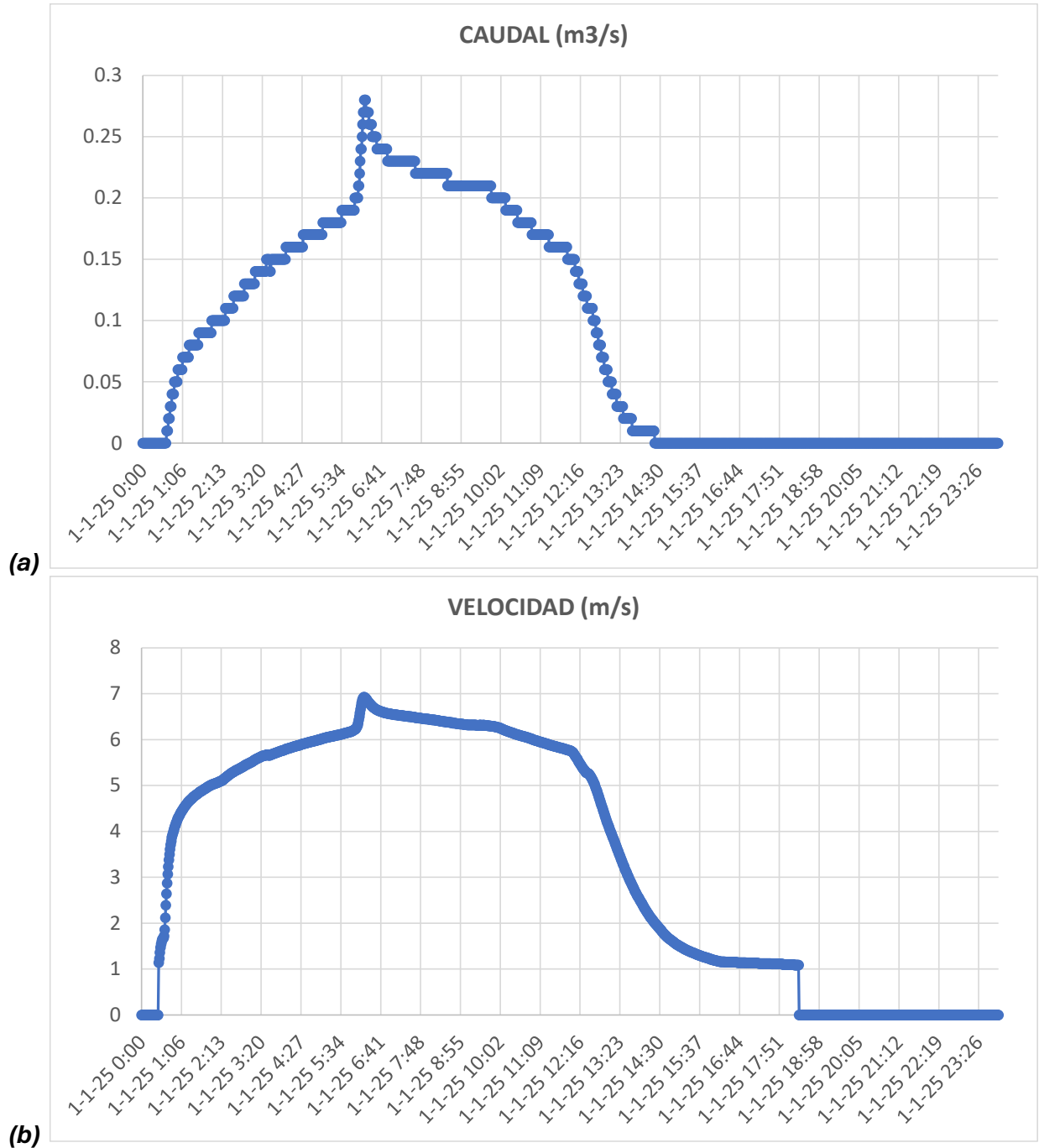
velocidad máxima de 6,93 m/s, valor superior al máximo recomendado de 6,0 m/s, y que representa un incremento de 15,5 % sobre el máximo recomendado.

Para complementar lo anterior, en la Figura 6-4 se presenta la gráfica de la evolución temporal del caudal (a) y la velocidad (b) en el tramo de colector CE-CO-00-016. De los resultados de la modelación se cuantifica el tiempo en que se superan los 6,0 m/s, correspondiendo 358 minutos (5,97 horas).

Respecto a la relación altura / diámetro, se observa que cumple en su totalidad la condición  $h/D < 0,8$ .

**Tabla 6-7 Resultados modelación Colector Cornisa para Situación Con Proyecto, Escenario Con Cambio Climático, T=100 años y D=12 horas (CP-CCC T100D12).**

| Tramo Colector<br>Link | Caudal (m3/s) | Razón altura /<br>diámetro<br>h/D | Velocidad<br>Máxima<br>V(m/s) | Cámara<br>Inspección<br>Nodo | Altura Máxima<br>de Agua<br>hmax (m) |
|------------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| CE-CO-00-001           | 0             | 0.00                              | 0.00                          | CO-00-001                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-002           | 0             | 0.00                              | 0.00                          | CO-00-002                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-003           | 0             | 0.00                              | 0.00                          | CO-00-003                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-004           | 0             | 0.00                              | 0.00                          | CO-00-004                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-005           | 0             | 0.09                              | 0.00                          | CO-00-005                    | 0.00                                 |
| CE-CO-00-006           | 0.187         | 0.28                              | 1.63                          | CO-00-006                    | 0.20                                 |
| CE-CO-00-007           | 0.199         | 0.32                              | 1.43                          | CO-00-007                    | 0.26                                 |
| CE-CO-00-008           | 0.199         | 0.33                              | 1.37                          | CO-00-008                    | 0.27                                 |
| CE-CO-00-009           | 0.201         | 0.37                              | 1.17                          | CO-00-009                    | 0.33                                 |
| CE-CO-00-010           | 0.201         | 0.26                              | 1.93                          | CO-00-010                    | 0.21                                 |
| CE-CO-00-011           | 0.201         | 0.25                              | 2.03                          | CO-00-011                    | 0.20                                 |
| CE-CO-00-012           | 0.205         | 0.27                              | 1.82                          | CO-00-012                    | 0.22                                 |
| CE-CO-00-013           | 0.276         | 0.13                              | 4.69                          | CO-00-013                    | 0.13                                 |
| CE-CO-00-014           | 0.276         | 0.11                              | 5.67                          | CO-00-014                    | 0.11                                 |
| CE-CO-00-015           | 0.276         | 0.13                              | 4.85                          | CO-00-015                    | 0.13                                 |
| <b>CE-CO-00-016</b>    | <b>0.276</b>  | <b>0.10</b>                       | <b>6.93</b>                   | CO-00-016                    | 0.10                                 |
| CE-CO-00-017           | 0.276         | 0.14                              | 4.05                          | CO-00-017                    | 0.11                                 |
| CE-CO-00-017b          | 0.276         | 0.15                              | 3.59                          | CO-00-017A                   | 0.19                                 |
| CE-CO-018              | 0.281         | 0.09                              | 5.23                          | CO-00-018                    | 0.11                                 |



**Figura 6-4 Caudal (a) y velocidad (b) versus tiempo, en Colector Cornisa, tramo CE-CO-00-016. Tormenta CP-CCC\_T100D12.**

En este caso la altura de escurrimiento sobre la calle en Av. Cornisa, en las cercanías al proyecto, no superan los 13 cm.

**Tabla 6-8 Altura de aguas máximas en Av. Cornisa en cercanía al proyecto.**  
**Escenario CP-CCC T100 D12.**

| Punto Calle<br>Nodo | Cota Rasante | Altura<br>Máxima de<br>Agua<br>hmax (m) |
|---------------------|--------------|-----------------------------------------|
| NCA-COR-002         | 51.27        | 0.02                                    |
| NCA-COR-001         | 47.92        | 0.05                                    |
| NCA-COR-P01         | 46.62        | 0.05                                    |
| NCA-COR-P02         | 45.77        | 0.13                                    |

## 7 CONCLUSIONES

El Colector Cornisa existente forma parte de la red primaria del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias de la ciudad de Concón. Para evaluar el comportamiento de este colector frente a un contexto de cambio climático, en el presente informe técnico se han considerado como antecedentes un estudio de evaluación de cambio climático severo RCP8.5 en el sitio del proyecto (GAC, 2023) y el Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Concón (DOH, 2022).

En el estudio de evaluación de cambio climático severo se ha estimado que el cambio climático impone para un evento de tormenta con periodo de retorno de 100 años (percentil 99), un incremento en un 5,6%. En su análisis de valores extremos, para la lluvia máxima diaria y para el percentil 99%, se tiene un valor histórico de 118,19 mm y un valor futuro de 124,78 mm. Por su parte, en el Plan Maestro de Aguas Luvias de Concón, en su análisis de estaciones pluviométricas, mediante análisis de frecuencia obtuvo valores de precipitación máxima T=100 años y D=24 horas entre un rango de 143 y 303 mm (factores de 1,21 y 2,56 veces con respecto al valor histórico GAC-2023). Para el caso de precipitación máxima de T=2 años y D=24 horas, el Plan Maestro obtuvo un rango entre 55 y 112 mm (factores de 1,00 y 2,05 veces con respecto al valor histórico GAC-2023).



Las diferencias de resultados entre estos estudios se consideran aceptables, por cuanto estas se atribuyen a uso de distintas metodologías, aplicación de diversas distribuciones de probabilidad y definición de criterios objetivos de autores.

Como parte de la revisión de antecedentes, se revisó el diagnóstico realizado en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón sobre el Colector Cornisa, realizado para un evento de tormenta con periodo de retorno (T) de 2 años y duración (D) de 12 horas (evento identificado como T2D12). Los resultados muestran que el Colector Cornisa, para el evento T2D12, descarga un caudal de 194 l/s, y que el tramo del colector CE-CO-00-016, entre las cámaras de inspección CO-00-016 y CO-00-017, situado en el tramo de pendiente fuerte antes de su descarga en el mar, presenta una velocidad de 6,19 m/s, valor ligeramente superior al máximo recomendado para situaciones normales, de 6 m/s y que representa un exceso de un 3,2%, por sobre dicho valor. El lapso de tiempo en que se superan los 6,0 m/s para esta condición son 19 minutos. Si bien no se conocen las condiciones de diseño de este colector, los resultados de la modelación indicarían que éste podría haber sido diseñado para un caudal de período de retorno  $T = 2$  años.

Para cuantificar el riesgo al que estaría expuesto el Colector Cornisa en un escenario de cambio climático y la incidencia que tendría en dicho escenario del proyecto “Urbanización y Loteo Costa de Montemar VI Etapa”, se han modelado los siguientes escenarios:

- Situación Sin Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático SP-SCC\_T100D12
- Situación Sin Proyecto, Escenario Con Cambio Climático SP-CCC\_T100D12
- Situación Con Proyecto, Escenario Sin Cambio Climático CP-SCC\_T100D12
- Situación Con Proyecto, Escenario Con Cambio Climático CP-CCC\_T100D12

Nota: T100D12, indica tormenta de período de retorno 100 años y duración 12 horas.

En esta evaluación se aplica una precipitación pluvial, para  $T=100$  años, estimada a partir de los valores expuestos en el estudio [Ref. 2] Evaluación de Cambio Climático Bajo Escenario RCP 8.5, considerando una duración de la tormenta de 12 horas. Los valores de estas tormentas son las siguientes:

|                                                  |   |          |
|--------------------------------------------------|---|----------|
| Tormenta Escenario Sin Cambio Climático, T100D12 | : | 86,28 mm |
| Tormenta Escenario Con Cambio Climático, T100D12 | : | 91,09 mm |

La aplicación de una tormenta de duración 12 horas se basa en que, en función de los resultados de la modelación hidrológica – hidráulica del área de estudio, ya que para una tormenta de esta duración se obtienen caudales ligeramente mayores a los del caso de una tormenta de 24 horas de duración.

### **Situación Sin Proyecto:**

Para la situación Sin Proyecto, los resultados obtenidos entre los dos escenarios considerados se presentan en la Tabla 7-1. De estos resultados se puede observar que el efecto del cambio climático, considerando un evento de tormenta con periodo de retorno de 100 años y duración 12 horas, genera un aumento de caudal de 5,1%, y que el incremento de velocidades es muy bajo, con un incremento de aproximadamente 1,8%.

No obstante, para ambos escenarios, se observa que el tramo del colector CE-CO-00-016, ubicado en un tramo de pendiente fuerte, aguas arriba del atraveso de Av. Borgoño, presenta velocidades máximas sobre lo recomendado de 6,0 m/s. El lapso de tiempo en que se superan los 6,0 m/s para el escenario Sin Cambio Climático y Con Cambio Climático corresponden a 4,47 horas y 5,52 horas, respectivamente.

El Manual de Drenaje Urbano de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, recomienda que para el caso de tuberías de concreto reforzado la velocidad máxima permisible sea inferior a 3,5 m/s, y que esporádicamente se pueden aceptar valores de hasta 6,0 m/s. También, el mismo documento, expresa que *“En casos excepcionales, en tramos aislados de tubería, si se presentan velocidades de hasta 8 m/s, se pueden aceptar con la debida autorización del proyecto, por lo que se tendrá que realizar un estudio del funcionamiento hidráulico y de la resistencia del material de las paredes del conducto”*. Lo anterior podría aplicarse en este caso, siempre que la estructura del colector este bien conservada.

Respecto a la relación altura / diámetro, se observa que en ambos escenarios se cumple en su totalidad la condición  $h/D < 0,8$ .

**Tabla 7-1 Comparación Situación Sin Proyecto, entre escenarios Sin Cambio Climático y Con Cambio Climático.**

| Sin Proyecto (SP)          | Sin Cambio Climático (SCC) |                                    |                                | Con Cambio Climático (CCC) |                                    |                                | Variación |                         |           |
|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| Tramo Colector<br><br>Link | Caudal (m3/s)              | Razón altura / diámetro<br><br>h/D | Velocidad Máxima<br><br>V(m/s) | Caudal (m3/s)              | Razón altura / diámetro<br><br>h/D | Velocidad Máxima<br><br>V(m/s) | Caudal    | Razón altura / diámetro | Velocidad |
| CE-CO-00-001               | 0                          | 0                                  | 0                              | 0                          | 0                                  | 0                              |           |                         |           |
| CE-CO-00-002               | 0                          | 0                                  | 0                              | 0                          | 0                                  | 0                              |           |                         |           |
| CE-CO-00-003               | 0                          | 0                                  | 0                              | 0                          | 0                                  | 0                              |           |                         |           |
| CE-CO-00-004               | 0                          | 0                                  | 0                              | 0                          | 0                                  | 0                              |           |                         |           |
| CE-CO-00-005               | 0                          | 0                                  | 0                              | 0                          | 0                                  | 0                              |           |                         |           |
| CE-CO-00-006               | 0.175                      | 0.27                               | 1.6                            | 0.187                      | 0.28                               | 1.63                           | 6.9%      | 3.7%                    | 1.9%      |
| CE-CO-00-007               | 0.191                      | 0.31                               | 1.41                           | 0.199                      | 0.32                               | 1.43                           | 4.2%      | 3.2%                    | 1.4%      |
| CE-CO-00-008               | 0.191                      | 0.32                               | 1.35                           | 0.199                      | 0.33                               | 1.37                           | 4.2%      | 3.1%                    | 1.5%      |
| CE-CO-00-009               | 0.193                      | 0.37                               | 1.15                           | 0.201                      | 0.37                               | 1.17                           | 4.1%      | 0.0%                    | 1.7%      |
| CE-CO-00-010               | 0.193                      | 0.26                               | 1.9                            | 0.201                      | 0.26                               | 1.93                           | 4.1%      | 0.0%                    | 1.6%      |
| CE-CO-00-011               | 0.193                      | 0.25                               | 2                              | 0.201                      | 0.25                               | 2.03                           | 4.1%      | 0.0%                    | 1.5%      |
| CE-CO-00-012               | 0.196                      | 0.27                               | 1.8                            | 0.205                      | 0.27                               | 1.82                           | 4.6%      | 0.0%                    | 1.1%      |
| CE-CO-00-013               | 0.254                      | 0.12                               | 4.58                           | 0.267                      | 0.13                               | 4.65                           | 5.1%      | 8.3%                    | 1.5%      |
| CE-CO-00-014               | 0.254                      | 0.11                               | 5.54                           | 0.267                      | 0.11                               | 5.62                           | 5.1%      | 0.0%                    | 1.4%      |
| CE-CO-00-015               | 0.254                      | 0.12                               | 4.73                           | 0.267                      | 0.12                               | 4.8                            | 5.1%      | 0.0%                    | 1.5%      |
| CE-CO-00-016               | 0.254                      | 0.09                               | 6.74                           | 0.267                      | 0.1                                | 6.86                           | 5.1%      | 11.1%                   | 1.8%      |
| CE-CO-00-017               | 0.254                      | 0.14                               | 3.96                           | 0.267                      | 0.14                               | 4.02                           | 5.1%      | 0.0%                    | 1.5%      |
| CE-CO-00-017b              | 0.254                      | 0.15                               | 3.51                           | 0.267                      | 0.15                               | 3.57                           | 5.1%      | 0.0%                    | 1.7%      |
| CE-CO-018                  | 0.255                      | 0.09                               | 5.07                           | 0.269                      | 0.09                               | 5.15                           | 5.5%      | 0.0%                    | 1.6%      |

### **Situación Con Proyecto:**

Para la situación Con Proyecto, se evaluó el efecto que tiene el proyecto del colector de aguas lluvias Costa de Montemar Sur VI Etapa, sobre el Colector Cornisa existente, implementando dicho colector proyectado en el modelo de simulación EPA SWMM del PM-43, bajo las condiciones de sin y con cambio climático.

Los resultados obtenidos entre estos escenarios se presentan en la Tabla 7-2.

**Tabla 7-2 Comparación Situación Con Proyecto, entre escenarios Sin Cambio Climático y Con Cambio Climático.**

| Con Proyecto (CP) | Sin Cambio Climático (SCC) |                         |                  | Con Cambio Climático (CCC) |                         |                  | Variación |                         |           |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| Tramo Colector    | Caudal (m3/s)              | Razón altura / diámetro | Velocidad Máxima | Caudal (m3/s)              | Razón altura / diámetro | Velocidad Máxima | Caudal    | Razón altura / diámetro | Velocidad |
| Link              |                            | h/D                     | V(m/s)           |                            | h/D                     | V(m/s)           |           |                         |           |
| CE-CO-00-001      | 0                          | 0                       | 0                | 0                          | 0                       | 0                |           |                         |           |
| CE-CO-00-002      | 0                          | 0                       | 0                | 0                          | 0                       | 0                |           |                         |           |
| CE-CO-00-003      | 0                          | 0                       | 0                | 0                          | 0                       | 0                |           |                         |           |
| CE-CO-00-004      | 0                          | 0                       | 0                | 0                          | 0                       | 0                |           |                         |           |
| CE-CO-00-005      | 0                          | 0.                      | 0                | 0                          | 0.                      | 0                |           |                         |           |
| CE-CO-00-006      | 0.175                      | 0.27                    | 1.6              | 0.187                      | 0.28                    | 1.63             | 6.9%      | 3.7%                    | 1.9%      |
| CE-CO-00-007      | 0.191                      | 0.31                    | 1.41             | 0.199                      | 0.32                    | 1.43             | 4.2%      | 3.2%                    | 1.4%      |
| CE-CO-00-008      | 0.191                      | 0.32                    | 1.35             | 0.199                      | 0.33                    | 1.37             | 4.2%      | 3.1%                    | 1.5%      |
| CE-CO-00-009      | 0.193                      | 0.37                    | 1.15             | 0.201                      | 0.37                    | 1.17             | 4.1%      | 0.0%                    | 1.7%      |
| CE-CO-00-010      | 0.193                      | 0.26                    | 1.9              | 0.201                      | 0.26                    | 1.93             | 4.1%      | 0.0%                    | 1.6%      |
| CE-CO-00-011      | 0.193                      | 0.25                    | 2                | 0.201                      | 0.25                    | 2.03             | 4.1%      | 0.0%                    | 1.5%      |
| CE-CO-00-012      | 0.197                      | 0.27                    | 1.8              | 0.205                      | 0.27                    | 1.82             | 4.1%      | 0.0%                    | 1.1%      |
| CE-CO-00-013      | 0.264                      | 0.13                    | 4.63             | 0.276                      | 0.13                    | 4.69             | 4.5%      | 0.0%                    | 1.3%      |
| CE-CO-00-014      | 0.264                      | 0.11                    | 5.6              | 0.276                      | 0.11                    | 5.67             | 4.5%      | 0.0%                    | 1.3%      |
| CE-CO-00-015      | 0.264                      | 0.12                    | 4.79             | 0.276                      | 0.13                    | 4.85             | 4.5%      | 8.3%                    | 1.3%      |
| CE-CO-00-016      | 0.264                      | 0.1                     | 6.83             | 0.276                      | 0.1                     | 6.93             | 4.5%      | 0.0%                    | 1.5%      |
| CE-CO-00-017      | 0.264                      | 0.14                    | 4.01             | 0.276                      | 0.14                    | 4.05             | 4.5%      | 0.0%                    | 1.0%      |
| CE-CO-00-017b     | 0.264                      | 0.15                    | 3.54             | 0.276                      | 0.15                    | 3.59             | 4.5%      | 0.0%                    | 1.4%      |
| CE-CO-018         | 0.269                      | 0.09                    | 5.16             | 0.281                      | 0.09                    | 5.23             | 4.5%      | 0.0%                    | 1.4%      |

De estos resultados se puede observar que, para la Situación Con Proyecto, el efecto del cambio climático, considerando un evento de tormenta con periodo de retorno de 100 años y duración 12 horas, genera un aumento de caudal de 4,5%, por sobre el caudal generado sin cambio climático y que el incremento de velocidades en el tramo del colector más afectado es muy bajo, con un incremento de aproximadamente 1,5%.

De igual forma que el caso anterior, para la Situación Con Proyecto, y en ambos escenarios (SCC y CCC), se observa que el tramo del colector CE-CO-00-016, ubicado en un tramo de pendiente fuerte aguas arriba del atraveso de Av. Borgoño, para casos esporádicos, presentan velocidades máximas sobre lo recomendado de 6,0 m/s. El lapso de tiempo en que se superan los 6,0 m/s para el escenario Sin Cambio Climático y Con Cambio Climático corresponden a 4,88 horas y 5,97 horas, respectivamente.

En resumen, el análisis efectuado, permite concluir lo siguiente:

1. De la revisión de antecedentes se constató que en el diagnóstico realizado en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de Concón sobre el Colector Cornisa, realizado para un evento de tormenta con periodo de retorno (T) de 2 años y duración (D) de 12 horas, se obtuvo que el tramo del colector CE-CO-00-016, entre las cámaras de inspección CO-00-016 y CO-00-017, situado en el tramo de pendiente fuerte antes de su descarga en el mar, presenta una velocidad de 6,19 m/s, valor ligeramente superior al máximo recomendado para situaciones normales, de 6 m/s y que representa un exceso de un 3,2%, por sobre dicho valor lo que se puede considerar aceptable tomando en cuenta que el episodio es eventual y de corta duración.
2. El Colector Cornisa, para las condiciones extremas consideradas en el análisis de riesgo del presente informe, correspondientes a un Período de Retorno T=100 años, en las condiciones actuales presenta un riesgo de operación bajo dada la también baja probabilidad de ocurrencia de la tormenta y la corta duración del peak.
3. El tramo del colector CE-CO-00-016, de longitud 4 m, situado en la zona de pendiente fuerte, antes de la descarga del colector en el mar, para la situación sin proyecto y sin cambio climático, presenta una velocidad máxima de 6,74 m/s, valor que supera al máximo recomendado de 6,0 m/s. Esta velocidad representa un incremento de 12,3% sobre el máximo recomendado.
4. El proyecto Costa de Montemar Sur VI Etapa, introduce en el colector Cornisa, un aumento de caudal del 3,9%.

5. El tramo del colector CE-CO-00-016, en este caso (Con Proyecto), presenta una velocidad máxima de entre 6,83 m/s, valor superior a los 6 m/s recomendados y que representa un incremento, respecto de la situación sin proyecto, de 1,3%.
6. En un escenario con cambio climático, el Colector Cornisa, para las condiciones extremas consideradas, correspondientes a un Período de Retorno T=100 años, aumentadas en un 5,6%, sin proyecto, generan en el colector un aumento en el caudal equivalente a un 5,1%.
7. El tramo del colector CE-CO-00-016, en este caso (Sin Proyecto), presenta una velocidad máxima de 6,86 m/s, valor superior a los 6 m/s recomendados y que representa un incremento, respecto de la situación sin cambio climático, de un 1,8%.
8. En un escenario con cambio climático, el Colector Cornisa, para las condiciones extremas consideradas, correspondientes a un Período de Retorno T=100 años, aumentadas en un 5,6%, con proyecto, generan en el colector un aumento en el caudal equivalente a un 4,5%.
9. El tramo del colector CE-CO-00-016, en este caso, presenta una velocidad máxima de 6,93 m/s, valor superior a los 6 m/s recomendados y que representa un incremento, respecto de la situación sin proyecto, de un 1%.
10. Como era de esperar la evaluación de riesgo del colector Cornisa, al modelar el comportamiento hidráulico con una crecida de 100 años de período de retorno, que excede los períodos de retorno usuales para el diseño de este tipo de colectores, muestra que en el sector de fuerte pendiente se superan las recomendaciones de diseño del MDU, específicamente debido a velocidades altas, presentándose velocidades por sobre lo recomendado.
11. En relación al aumento de caudal en la situación actual considerando cambio climático, los resultados muestran que el riesgo no cambia respecto a la situación sin cambio climático.
12. Respecto a la situación actual con la incorporación de las aguas lluvias del drenaje del proyecto Costa de Montemar Sur VI Etapa al colector Cornisa existente, el riesgo, para la crecida de 100 años de período de

retorno, no presenta cambios significativos respecto a la situación actual, igual conclusión resulta al considerar cambio climático.

13. Respecto de las alturas generadas por la escorrentía en las calles próximas al colector, éstas se encuentran dentro de valores razonables y en ningún caso debería descargar, sin control, hacia los terrenos urbanizados tomando en consideración que el sector en análisis cuenta con un murete (ver foto) en el sector poniente que impediría que el flujo que escurre superficialmente por la calle descargue hacia el terreno contiguo.



Finalmente, es posible concluir que el colector Cornisa, se encuentra en la actualidad sometido a un riesgo bajo, provocado por las precipitaciones de la zona, principalmente debido a las velocidades que se producen en el interior del tramo comprendido entre CE-CO-00-014 al CE-CO-00-016, de altas pendientes. Este riesgo no es incrementado, significativamente, por el proyecto Costa de Montemar Sur VI Etapa, como tampoco, por el escenario de un cambio climático (con y sin proyecto). Por lo anterior y en consideración a la excepcionalidad indicada en el MDU, que podría aplicarse en este caso, se recomienda efectuar una inspección del estado de conservación del último tramo del Colector Cornisa, especialmente de la zona donde se presentan velocidades superiores a 6 m/s.

Santiago, 4 de julio de 2025.