

ESTUDIO DE POTENCIA  
PARA LA  
DIPUTACIÓN PROVINCIAL  
DE CIUDAD REAL

---

CIUDAD REAL, 3 de octubre de 2019



## Datos del cliente y suministro

Razón social: DIPUTACIÓN CUPS: ES0022000008136314CM  
 Provincia: CIUDAD REAL TARIFA: 3A  
 Derechos de extensión: 110 P<sub>1</sub> P<sub>2</sub> P<sub>3</sub>  
 Pot. max. instalación (kW): - Potencia (kW): 110 110 110  
 Consumo (kWh/año):

Los registros históricos de los máxímetros disponibles para el estudio se muestran en la Figura 1:

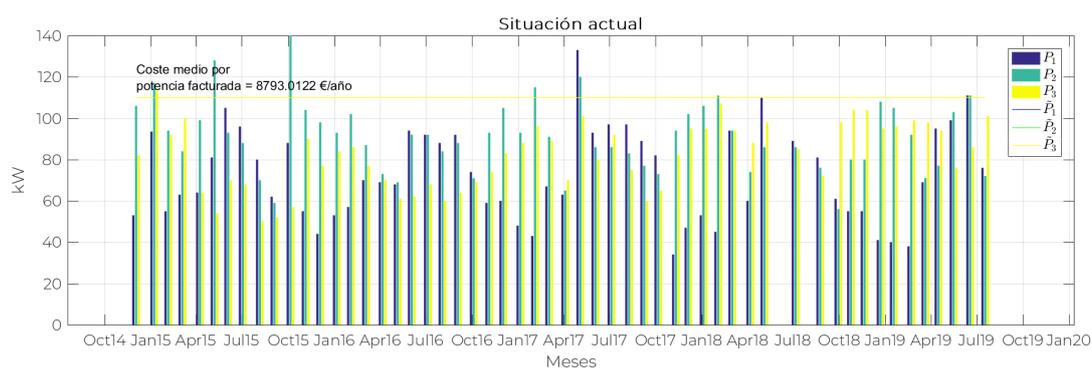


Figura 1: Registros históricos de máxímetros junto con las potencias instaladas en horizontal (kW).

## Análisis del suministro

Se ha realizado un análisis de potencia sobre el suministro eléctrico de la Diputación Provincial de Ciudad real con CUPS ES0022000008136314CM.

Históricamente, los registros de los máxímetros del punto de suministro analizado tienen un comportamiento según los datos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Registros numéricos históricos de los máxímetros de la Diputación Provincial de Ciudad Real.

|                    |                    | P <sub>1</sub> (kW) | P <sub>2</sub> (kW) | P <sub>3</sub> (kW) |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>03-Dec-2014</b> | <b>07-Jan-2015</b> | 53.0                | 106.0               | 82.0                |
| <b>08-Jan-2015</b> | <b>04-Feb-2015</b> | 93.5                | 117.0               | 113.0               |
| <b>05-Feb-2015</b> | <b>04-Mar-2015</b> | 55.0                | 94.0                | 92.0                |
| <b>05-Mar-2015</b> | <b>08-Apr-2015</b> | 63.0                | 84.0                | 100.0               |
| <b>09-Apr-2015</b> | <b>07-May-2015</b> | 64.0                | 99.0                | 64.0                |
| <b>08-May-2015</b> | <b>03-Jun-2015</b> | 81.0                | 128.0               | 54.0                |
| <b>04-Jun-2015</b> | <b>02-Jul-2015</b> | 105.0               | 93.0                | 70.0                |
| <b>03-Jul-2015</b> | <b>05-Aug-2015</b> | 96.0                | 88.0                | 68.0                |
| <b>06-Aug-2015</b> | <b>03-Sep-2015</b> | 80.0                | 70.0                | 50.0                |

Continuación

|                    |                    | P <sub>1</sub> (kW) | P <sub>2</sub> (kW) | P <sub>3</sub> (kW) |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>04-Sep-2015</b> | <b>05-Oct-2015</b> | 62.0                | 59.0                | 52.0                |
| <b>06-Oct-2015</b> | <b>04-Nov-2015</b> | 88.0                | 140.0               | 57.0                |
| <b>05-Nov-2015</b> | <b>03-Dec-2015</b> | 55.0                | 104.0               | 90.0                |
| <b>04-Dec-2015</b> | <b>05-Jan-2016</b> | 44.0                | 98.0                | 77.0                |
| <b>06-Jan-2016</b> | <b>02-Feb-2016</b> | 53.0                | 93.0                | 84.0                |
| <b>03-Feb-2016</b> | <b>03-Mar-2016</b> | 57.0                | 102.0               | 86.0                |
| <b>04-Mar-2016</b> | <b>05-Apr-2016</b> | 70.0                | 87.0                | 77.0                |
| <b>06-Apr-2016</b> | <b>05-May-2016</b> | 69.0                | 73.0                | 70.0                |
| <b>06-May-2016</b> | <b>02-Jun-2016</b> | 68.0                | 69.0                | 61.0                |
| <b>03-Jun-2016</b> | <b>04-Jul-2016</b> | 94.0                | 92.0                | 62.0                |
| <b>05-Jul-2016</b> | <b>02-Aug-2016</b> | 92.0                | 92.0                | 68.0                |
| <b>03-Aug-2016</b> | <b>02-Sep-2016</b> | 88.0                | 84.0                | 60.0                |
| <b>03-Sep-2016</b> | <b>03-Oct-2016</b> | 92.0                | 88.0                | 64.0                |
| <b>04-Oct-2016</b> | <b>03-Nov-2016</b> | 74.0                | 71.0                | 69.0                |
| <b>04-Nov-2016</b> | <b>01-Dec-2016</b> | 59.0                | 93.0                | 74.0                |
| <b>02-Dec-2016</b> | <b>04-Jan-2017</b> | 60.0                | 105.0               | 83.0                |
| <b>05-Jan-2017</b> | <b>02-Feb-2017</b> | 48.0                | 93.0                | 88.0                |
| <b>03-Feb-2017</b> | <b>02-Mar-2017</b> | 43.0                | 115.0               | 96.0                |
| <b>03-Mar-2017</b> | <b>03-Apr-2017</b> | 67.0                | 91.0                | 89.0                |
| <b>04-Apr-2017</b> | <b>03-May-2017</b> | 63.0                | 65.0                | 70.0                |
| <b>04-May-2017</b> | <b>02-Jun-2017</b> | 133.0               | 120.0               | 101.0               |
| <b>03-Jun-2017</b> | <b>04-Jul-2017</b> | 93.0                | 86.0                | 80.0                |
| <b>05-Jul-2017</b> | <b>08-Aug-2017</b> | 97.0                | 86.0                | 92.0                |
| <b>09-Aug-2017</b> | <b>07-Sep-2017</b> | 97.0                | 83.0                | 75.0                |
| <b>08-Sep-2017</b> | <b>05-Oct-2017</b> | 89.0                | 77.0                | 60.0                |
| <b>06-Oct-2017</b> | <b>09-Nov-2017</b> | 82.0                | 73.0                | 65.0                |
| <b>10-Nov-2017</b> | <b>04-Dec-2017</b> | 34.0                | 94.0                | 82.0                |
| <b>05-Dec-2017</b> | <b>03-Jan-2018</b> | 47.0                | 102.0               | 95.0                |
| <b>04-Jan-2018</b> | <b>01-Feb-2018</b> | 53.0                | 106.0               | 95.0                |
| <b>02-Feb-2018</b> | <b>01-Mar-2018</b> | 45.0                | 111.0               | 107.0               |
| <b>02-Mar-2018</b> | <b>06-Apr-2018</b> | 94.0                | 94.0                | 94.0                |
| <b>07-Apr-2018</b> | <b>04-May-2018</b> | 60.0                | 74.0                | 88.0                |
| <b>05-May-2018</b> | <b>05-Jul-2018</b> | 110.0               | 86.0                | 98.0                |
| <b>06-Jul-2018</b> | <b>23-Aug-2018</b> | 89.0                | 86.0                | 85.0                |
| <b>24-Aug-2018</b> | <b>28-Sep-2018</b> | 81.0                | 76.0                | 72.0                |
| <b>29-Sep-2018</b> | <b>23-Oct-2018</b> | 61.0                | 56.0                | 98.0                |
| <b>24-Oct-2018</b> | <b>19-Nov-2018</b> | 55.0                | 80.0                | 104.0               |
| <b>20-Nov-2018</b> | <b>21-Dec-2018</b> | 55.0                | 80.0                | 104.0               |
| <b>22-Dec-2018</b> | <b>16-Jan-2019</b> | 41.0                | 108.0               | 95.0                |
| <b>17-Jan-2019</b> | <b>20-Feb-2019</b> | 40.0                | 105.0               | 96.0                |
| <b>21-Feb-2019</b> | <b>20-Mar-2019</b> | 38.0                | 92.0                | 99.0                |
| <b>21-Mar-2019</b> | <b>15-Apr-2019</b> | 69.0                | 71.0                | 98.0                |
| <b>16-Apr-2019</b> | <b>15-May-2019</b> | 95.0                | 77.0                | 94.0                |
| <b>16-May-2019</b> | <b>17-Jun-2019</b> | 99.0                | 103.0               | 76.0                |
| <b>18-Jun-2019</b> | <b>17-Jul-2019</b> | 111.0               | 111.0               | 86.0                |

Continuación

|                    |                    | P <sub>1</sub> (kW) | P <sub>2</sub> (kW) | P <sub>3</sub> (kW) |
|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>18-Jul-2019</b> | <b>19-Aug-2019</b> | 76.0                | 72.0                | 101.0               |

## ¿Cómo se factura la potencia en las tarifas 3.0A?

Existen tres casos, en función del valor que registra el máxímetro:

- Menor que el 85 % de la potencia contratada: Se facturará como mínimo el 85 % de la potencia contratada.
- Entre el 85 % y el 105 % de la potencia contratada: Se facturará el valor que registre el máxímetro.
- Superior al 105 % de la potencia contratada: Se facturará el valor que registre el máxímetro mas el doble de la diferencia entre ese valor y el 105 % de la potencia contratada.

## Situación Actual del Punto de Suministro

Actualmente, este punto de suministro tiene una tarifa de acceso 3.0A, con la siguiente potencia contratada:

|                | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Potencia (kW): | 110            | 110            | 110            |

Para continuar con el estudio en términos económicos vamos a asumir una facturación análoga a una de las disponibles en el mercado de comercializadoras 3.0A, con los siguientes precios para cada uno de los tramos:

|                      | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|
| Precio (€/kW y año): | 43,71665833    | 27,43729333    | 19,29158833    |

Según la distribución de máxímetros y precios mostrada, anualmente, el término de potencia supone una facturación media de 8793,01 €/año.

## Propuesta de Ahorro

### Propuesta determinista

Inicialmente se va a asumir que el registro de máxímetros histórico permanece constante para el futuro (situación determinista), de forma que se busca la configuración de potencias contratadas que hace que la factura por el término de potencia sea lo menor posible. En ese caso las nuevas potencias contratadas deberían ser:

|                | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Potencia (kW): | 89             | 101            | 93             |

Lo cual implica una disminución generalizada de las potencias contratadas. Con esa nueva distribución, el cliente habría facturado 8288,62 €/año en lugar de los 8793,01 €/año, lo cual supone una disminución de 504,39 €/año.

Pero, **¿qué ocurre en caso de que en el futuro los registros históricos no coincidan con los empleados para el cálculo?** Para contestar a esta pregunta y analizar de forma más rigurosa la conveniencia de efectuar un cambio de potencia contratada, se va a analizar el problema teniendo en cuenta la incertidumbre de los registros de los máxímetros en el futuro. Adicionalmente, y para tener en consideración la posible variación en precios entre comercializadoras, e incluso variaciones de un año a otro en la misma comercializadora, se asume que los precios son inciertos y se distribuyen como una variable aleatoria normal cuyos valores medios coinciden con los proporcionados para el análisis y con una desviación típica de 1€ en ambos casos.

### Propuesta con incertidumbre

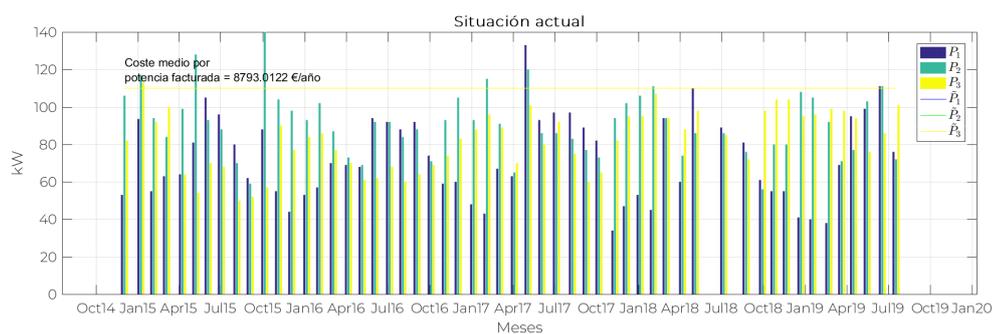
En este caso, dado que se dispone de registros mensuales de casi 5 años, y teniendo en cuenta que los máxímetros almacenan el máximo consumo promediado en un periodo corto a lo largo del periodo de facturación, que es aproximadamente mensual, estamos tratando con registros máximos mensuales, para los cuales vamos a tratar de ajustar una distribución Generalizada de Extremos (GEV,[1]) con posibles variaciones a lo largo del año para tener en cuenta la posible estacionalidad de los registros. En el apéndice de este documento se describen brevemente el modelo ajustado para cada tramo de facturación y los gráficos de diagnóstico. Con los valores ajustados se generan escenarios sintéticos de registros de máxímetros y precios que cumplan con la volatilidad ajustada, en concreto se generan el equivalente a 250 años de datos. Los resultados para los datos de máxímetros se muestran en la Figura 2 junto con los históricos. Como puede comprobarse los valores simulados están centrados en ajustes mostrados en el apéndice, pero con variaciones con respecto a estos últimos para tener en cuenta la volatilidad.

En este contexto la solución óptima de potencias de contratación sería:

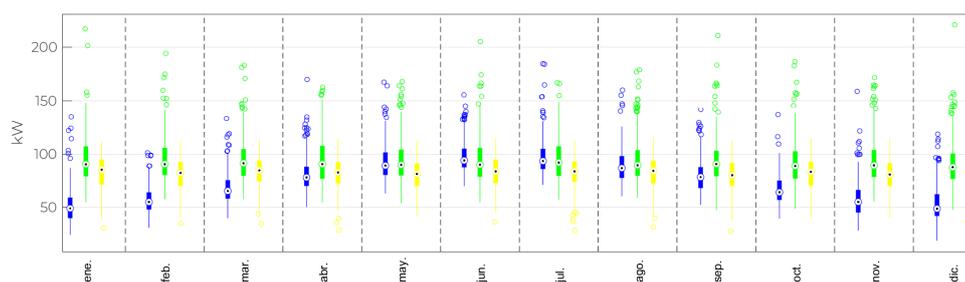
|                | $P_1$ | $P_2$ | $P_3$ |
|----------------|-------|-------|-------|
| Potencia (kW): | 92    | 106   | 91    |

Esta propuesta tiene variaciones significativas con respecto a la solución determinista, especialmente en los periodos  $P_1$  y  $P_2$ .

Analizando el efecto que tiene la volatilidad en los valores facturados con la solución actual, la determinista y la obtenida con volatilidad se obtiene los resultados mostrados en la Figura 3. Nótese cómo las dos curvas asociadas a la solución determinista y a la solución con volatilidad son similares aunque tienen diferencias apreciables, donde la solución volátil tiene valores ligeramente más ventajosos para los peores casos (los de mayor precio facturado) con respecto los de la solución determinista, a costa de que los casos con menores cuantías de facturación son ligeramente mayores. La solución considerando volatilidad tiene menor ahorro medio pero también menor desviación típica, lo cual concuerda con el concepto de aversión al riesgo de la optimización con incertidumbre. En ambos casos, la facturación de potencia es considerablemente inferior a la proporcionada con la situación



(a) Registros históricos disponibles.



(b) Registros simulados con volatilidad.

Figura 2: Comparación entre los registros de máxímetros históricos y simulados con las distribuciones GEV ajustadas a los datos.

actual, pero no es así en el 100 % de los casos, aunque sí en un porcentaje mayoritario, lo cual corrobora que las soluciones de contratación determinista y/o volátil son más ventajosas que la situación actual. **Lo cual no deja lugar a dudas de la conveniencia para la empresa de modificar las potencias contratadas.**

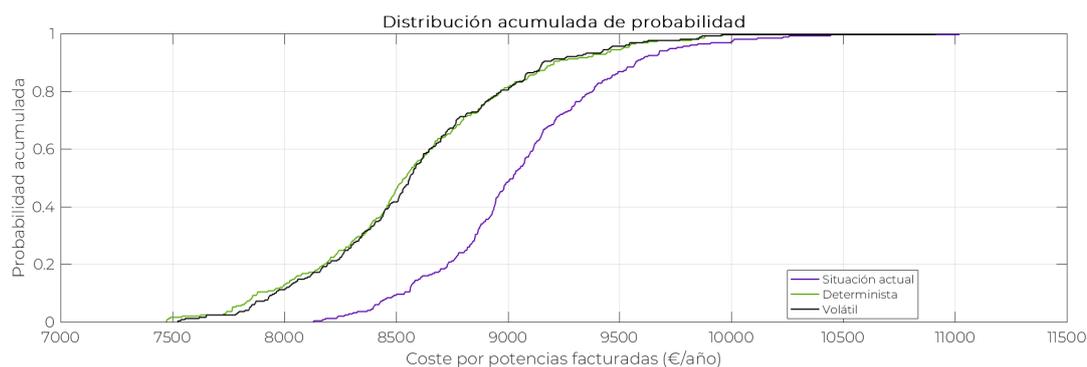


Figura 3: Polígonos acumulativos de frecuencias para las sumas acumuladas de potencia facturada para los distintos escenarios de registros de los máxímetros en los tres casos considerados: a) la situación actual, b) la potencia contratada obtenida con el cálculo determinista, y c) la potencia contratada considerando la volatilidad.

Este hecho queda reforzado en los histogramas de diferencia de facturación en-

tre el estado actual y las soluciones determinista y volátil, respectivamente, que se muestran en la Figura 4. Nótese que para la solución determinista, el 2 % de todos los registros de ahorro son negativos, mientras que hay ahorro positivo en un 98 % de los casos. En la solución con volatilidad, sólo en un 0,8 % de los casos se producen pérdidas, mientras que en el 99,2 % de los casos hay un ahorro positivo. La seguridad en consecución de ahorros positivos se paga en términos de un menor ahorro medio, que baja de los 468,44 €/año de la solución determinista, a los 458,77 €/año de la solución con volatilidad. Nótese como además de los ahorros medios también disminuyen los ahorros máximos, que pasan de los 955,18 €/año de la solución determinista, a los 808,28 €/año de la solución con volatilidad. Por contra, las mayores pérdidas pasan de los -139,29 €/año de la solución determinista, a los -95,96 €/año de la solución con volatilidad.

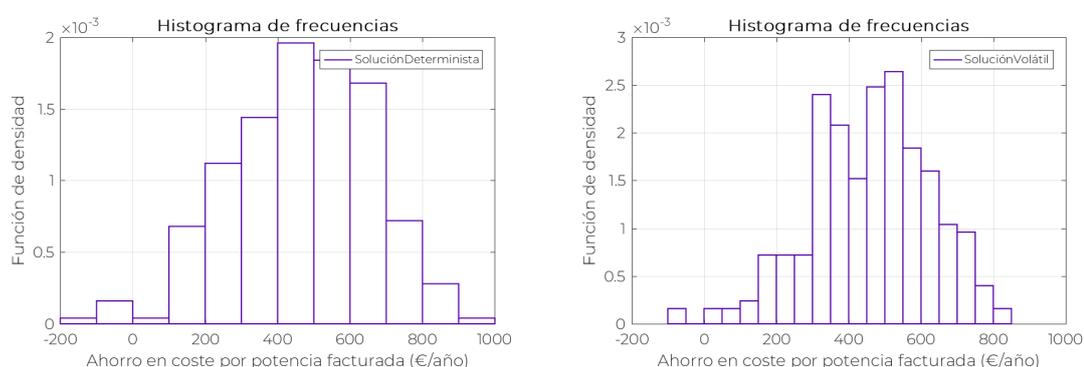


Figura 4: Histogramas de ahorro en facturación para a) la solución determinista y b) la solución con volatilidad.

## Conclusiones y propuesta definitiva

Derivado del estudio, la mejor propuesta de cambio en las potencias contratadas depende del perfil de riesgo del cliente. Si quiere asegurarse ahorros positivos sin importarle la disminución de valores medios y máximos ahorros, la mejor opción es la que considera volatilidad. Sin embargo, si su perfil es más arriesgado, la propuesta determinista es preferible. En ambos casos, las soluciones son más ventajosas que la actual. La elección depende de dos factores, el perfil de riesgo del cliente, y los posibles costes de modificación de las potencias.

| Cliente con propensión al riesgo |                |                |                |                      |                               |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|-------------------------------|
| Potencia (kW):                   | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | Ahorro medio (€/año) | Des. típica de ahorro (€/año) |
|                                  | 89             | 101            | 93             | 468,44               | 193,5308                      |
| Cliente con aversión al riesgo   |                |                |                |                      |                               |
| Potencia (kW):                   | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | Ahorro medio (€/año) | Des. típica de ahorro (€/año) |
|                                  | 92             | 106            | 91             | 458,77               | 167,7970                      |

En la Tabla 2 se muestra los ahorros conseguidos junto con la probabilidad de que el ahorro sea mayor que ese valor. Tanto para la solución con propensión al riesgo, como para la solución con aversión al riesgo.

---

|             | <b>Propensión al riesgo (€/año)</b> | <b>Aversión al riesgo variabilidad (€/año)</b> |
|-------------|-------------------------------------|--|
| <b>99 %</b> | -59.9                               | -14.0  |
| <b>95 %</b> | 141.7                               | 166.1  |
| <b>90 %</b> | 234.0                               | 241.5  |
| <b>75 %</b> | 327.1                               | 341.9  |
| <b>50 %</b> | 476.9                               | 474.4  |
| <b>25 %</b> | 613.8                               | 574.5  |
| <b>10 %</b> | 703.9                               | 665.6  |
| <b>5 %</b>  | 778.0                               | 721.1  |
| <b>1 %</b>  | 838.6                               | 780.9  |

Tabla 2: Ahorros conseguidos junto con la probabilidad de que el ahorro real sea mayor que ese valor, para la solución con propensión al riesgo y la solución con aversión al riesgo.



## Apéndice: Ajuste GEV de las potencias máximas

En este apéndice se muestran los resultados de los ajustes de los datos de los máximos a un modelo generalizado de extremos no estacionario GEV. El método de ajuste se describe de forma precisa en la referencia [1], que utiliza un método automático de búsqueda de la mejor configuración de parámetros para tener en cuenta variaciones de los parámetros a lo largo del año. En cualquier caso emplea el principio de parsimonia, buscando un compromiso entre ajuste y número de parámetros para evitar sobreparametrizaciones.

### Ajuste del Primer Tramo P1

El modelo ajustado y los parámetros para los valores de los máximos en el tramo P1, se muestran a continuación:

GEV Model:

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\psi} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

$$\mu(t) = \beta_0 + \sum_{i=1} [\beta_{2i-1} \cos(i\omega t) + \beta_{2i} \sin(i\omega t)] + \beta_{T1} t + \sum_k \phi_k n_{k,t}$$

$$\psi(t) = \exp \left( \alpha_0 + \sum_{i=1} [\alpha_{2i-1} \cos(i\omega t) + \alpha_{2i} \sin(i\omega t)] + \beta_{T2} t + \sum_k \phi_k n_{k,t} \right)$$

$$\xi(t) = \gamma_0 + \sum_{i=1} [\gamma_{2i-1} \cos(i\omega t) + \gamma_{2i} \sin(i\omega t)]$$

Model to Fit:

$$\mu(t) = \beta_0 + \sum_{i=1} [\beta_{2i-1} \cos(i\omega t) + \beta_{2i} \sin(i\omega t)]$$

$$\psi(t) = \exp \left( \alpha_0 + \sum_{i=1} [\alpha_{2i-1} \cos(i\omega t) + \alpha_{2i} \sin(i\omega t)] \right)$$

$$\xi(t) = \gamma_0 + \sum_{i=1} [\gamma_{2i-1} \cos(i\omega t) + \gamma_{2i} \sin(i\omega t)]$$

Model Fitted:

$$\mu(t) = \beta_0 + \sum_{i=1} [\beta_{2i-1} \cos(i\omega t) + \beta_{2i} \sin(i\omega t)]$$

$$\psi(t) = \exp \left( \alpha_0 \right)$$

$$\xi(t) = \gamma_0$$

Results:

$$\beta_0 = 67.053, \beta_1 = -23.427, \beta_2 = 1.268$$

$$\alpha_0 = 2.414$$

$$\gamma_0 = 0$$

Como puede apreciarse el parámetro de localización tiene una variación clara a lo largo del año caracterizada por la presencia de un armónico, mientras que los parámetros de escala y forma son constantes. Como el parámetro de forma es nulo, el ajuste se corresponde con una Gumbel de máximos.

En la Figura 5 se muestran los máximos mensuales correspondientes a los registros de los maxímetros en el tramo P1, la evolución del valor medio a lo largo del año, así como el cuantil del 95 %. Como puede comprobarse con claridad, hay una estacionalidad marcada con valores más altos registrados en los meses de verano.

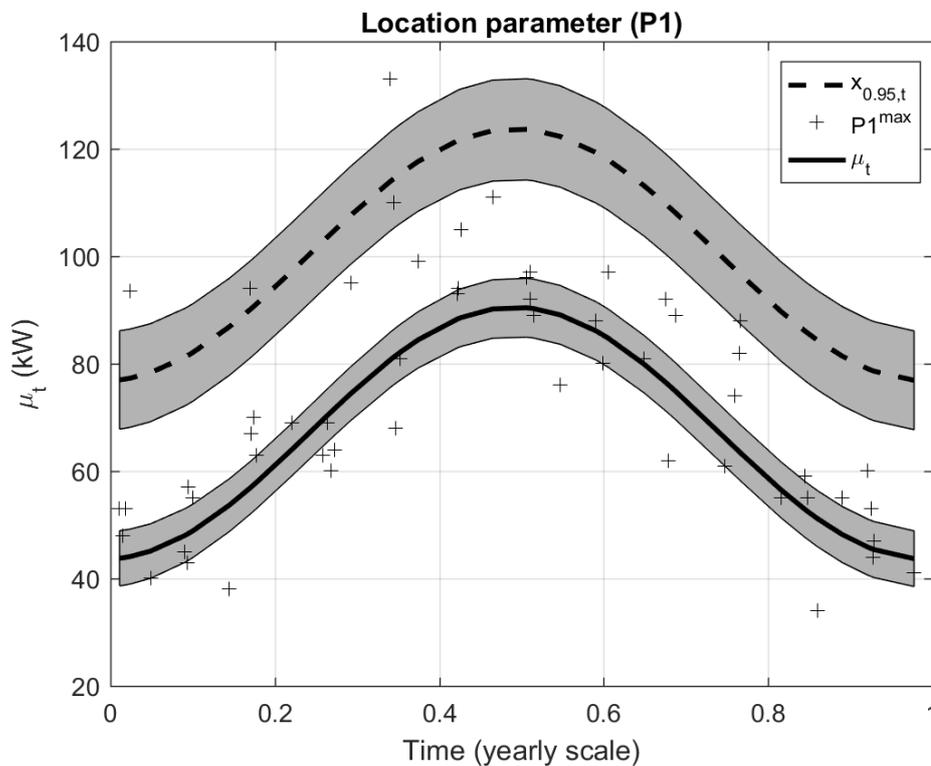


Figura 5: Máximos mensuales correspondientes a los registros de los maxímetros en el tramo P1, la evolución del valor medio ajustado a lo largo del año, así como el cuantil del 95 %

La bondad del ajuste se puede comprobar en los gráficos de diagnóstico probabilidad-probabilidad y cuantil-cuantil mostrados en la Figura 6. Como puede comprobarse los ajustes son buenos con valores cercanos a la diagonal.

Por último, en la Figura 7 se muestran los periodos de retorno mensuales y anuales ajustados, junto con los valores empíricos. La información de este gráfico es sumamente útil para conocer en número medio de años que han de transcurrir entre la ocurrencia de registros de maxímetros en cada uno de los meses, o en el año. Así por ejemplo:

- El alcanzar 92 kW en P1 abril ocurre como media cada 5 años.
- La superación de 120 kW en enero ocurre como media en más de 500 años, lo cual indica que es muy poco probable.
- El alcanzar 130 kW de máximo anual ocurre como media cada 10 años.

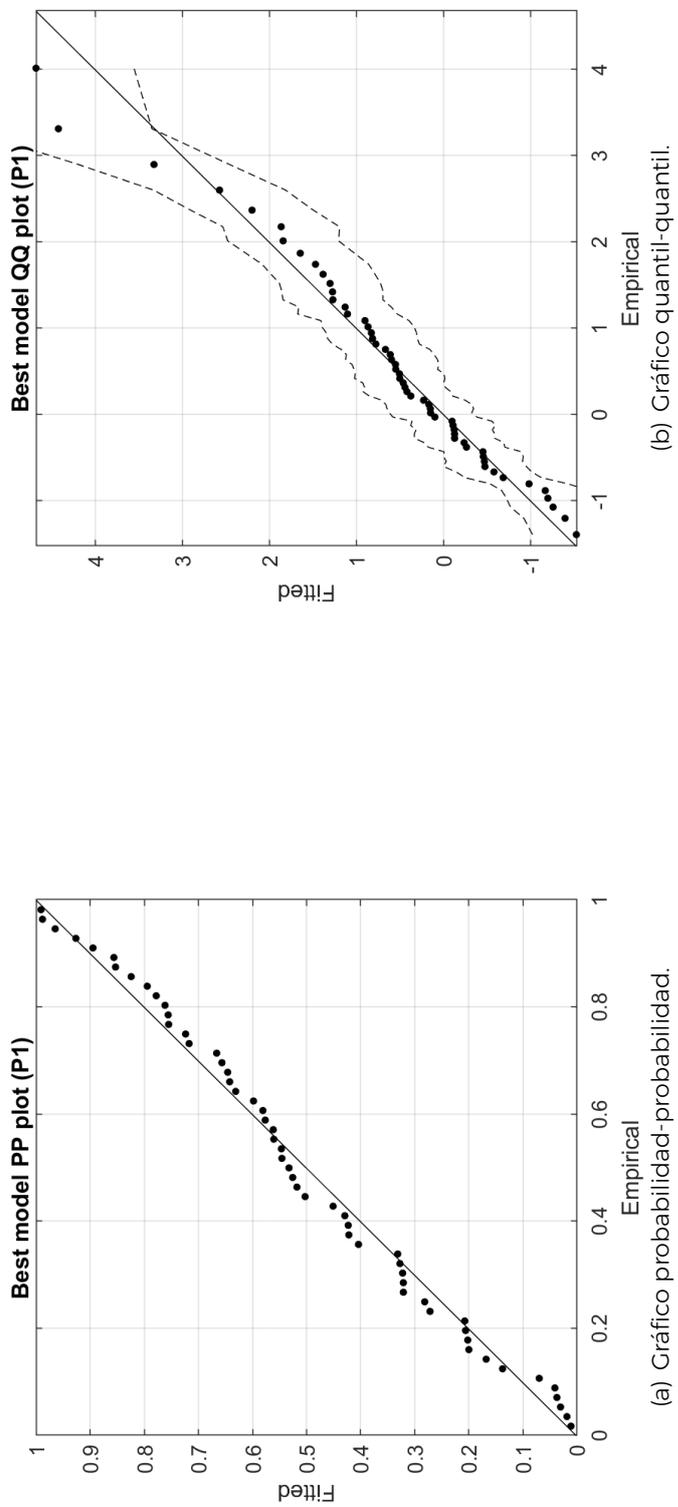


Figura 6: Gráficos de diagnóstico de ajuste del modelo GEV no estacionario para los máximo mensuales de los máxímetros en el periodo P1.

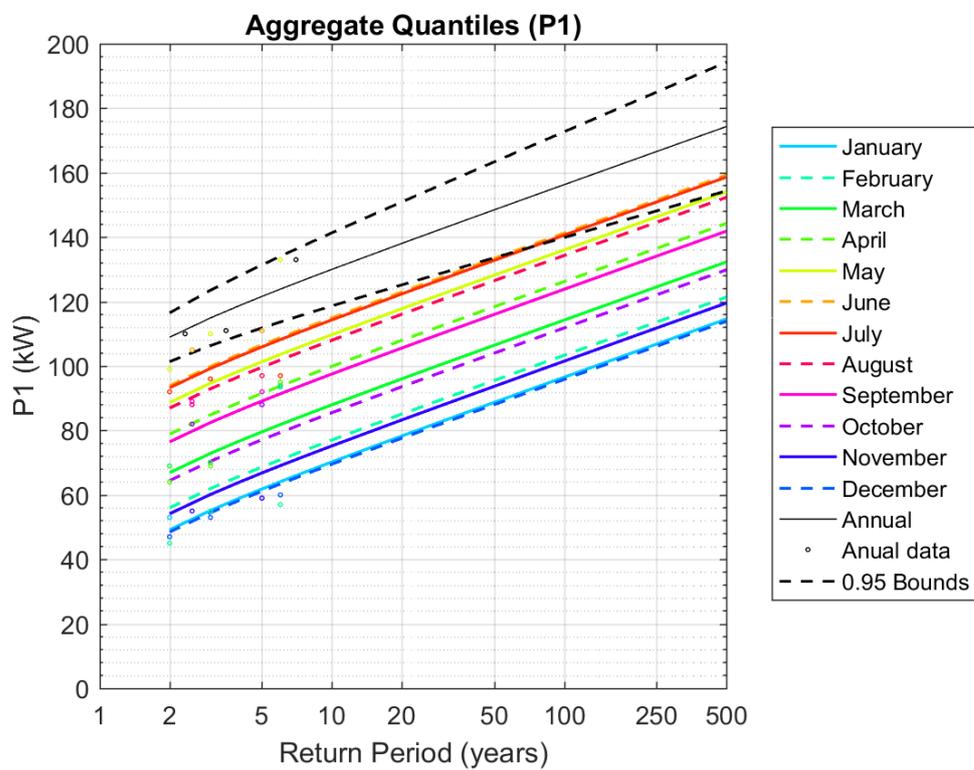


Figura 7: Gráfico de periodos de retorno de los máximos mensuales y de los máximos anuales integrando anualmente en el periodo P1.

## Ajuste del Segundo Tramo P2

El modelo ajustado y los parámetros para los valores de los máximos en el tramo P2, se muestran a continuación:

GEV Model:

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\psi} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

$$\mu(t) = \beta_o + \sum_{i=1} [\beta_{2i-1} \cos(i\omega t) + \beta_{2i} \sin(i\omega t)] + \beta_{T1}t + \sum_k \phi_k n_{k,t}$$

$$\psi(t) = \exp \left( \alpha_o + \sum_{i=1} [\alpha_{2i-1} \cos(i\omega t) + \alpha_{2i} \sin(i\omega t)] + \beta_{T2}t + \sum_k \phi_k n_{k,t} \right)$$

$$\xi(t) = \gamma_o + \sum_{i=1} [\gamma_{2i-1} \cos(i\omega t) + \gamma_{2i} \sin(i\omega t)]$$

Model to Fit:

$$\mu(t) = \beta_o + \sum_{i=1} [\beta_{2i-1} \cos(i\omega t) + \beta_{2i} \sin(i\omega t)]$$

$$\psi(t) = \exp \left( \alpha_o + \sum_{i=1} [\alpha_{2i-1} \cos(i\omega t) + \alpha_{2i} \sin(i\omega t)] \right)$$

$$\xi(t) = \gamma_o + \sum_{i=1} [\gamma_{2i-1} \cos(i\omega t) + \gamma_{2i} \sin(i\omega t)]$$

Model Fitted:

$$\mu(t) = \beta_o$$

$$\psi(t) = \exp(\alpha_o)$$

$$\xi(t) = \gamma_o$$

Results:

$$\beta_o = 84.176$$

$$\alpha_o = 2.751$$

$$\gamma_o = 0$$

En este caso el parámetro de localización no tiene una variación clara a lo largo del año y por ese motivo los parámetros de localización, escala y forma son constantes. Como el parámetro de forma es nulo, el ajuste se corresponde con una Gumbel de máximos.

En la Figura 8 se muestran los máximos mensuales correspondientes a los registros de los máximos en el tramo P2, la evolución del valor medio a lo largo del año, así como el cuantil del 95 %. Como puede comprobarse con claridad, no hay un patrón claro de estacionalidad con valores altos registrados a lo largo de todo el año.

La bondad del ajuste se puede comprobar en los gráficos de diagnóstico probabilidad-probabilidad y cuantil-cuantil mostrados en la Figura 9. Como puede comprobarse los ajustes son buenos con valores cercanos a la diagonal.

Por último, en la Figura 10 se muestran los periodos de retorno mensuales y anuales ajustados, junto con los valores empíricos. Nótese que al tratarse de un modelo sin

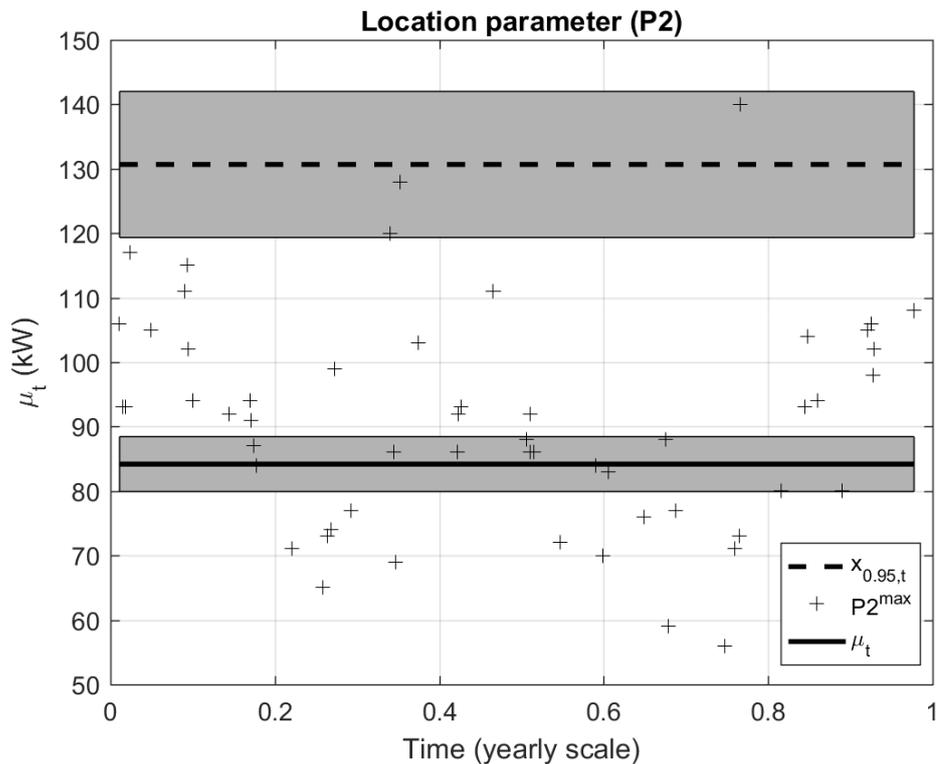


Figura 8: Máximos mensuales correspondientes a los registros de los máxímetros en el tramo P2, la evolución del valor medio ajustado a lo largo del año, así como el cuantil del 95 %

estacionalidad, los periodos de retorno mensuales para todos los meses son iguales y se superponen en una sola línea. La información de este gráfico es sumamente útil para conocer en número medio de años que han de transcurrir entre la ocurrencia de registros de máxímetros en cada uno de los meses, o en el año. Así por ejemplo:

- El alcanzar 108 kW en P2 abril ocurre como media cada 5 años.
- La superación de 150 kW en cualquier mes ocurre como media entre 50 y 100 años.
- El alcanzar 160 kW de máximo anual ocurre como media cada 10 años.

Nótese que los valores ajustados están por encima de los valores empíricos, lo cual indica que el modelo puede tener cierta tendencia hacia el conservadurismo.

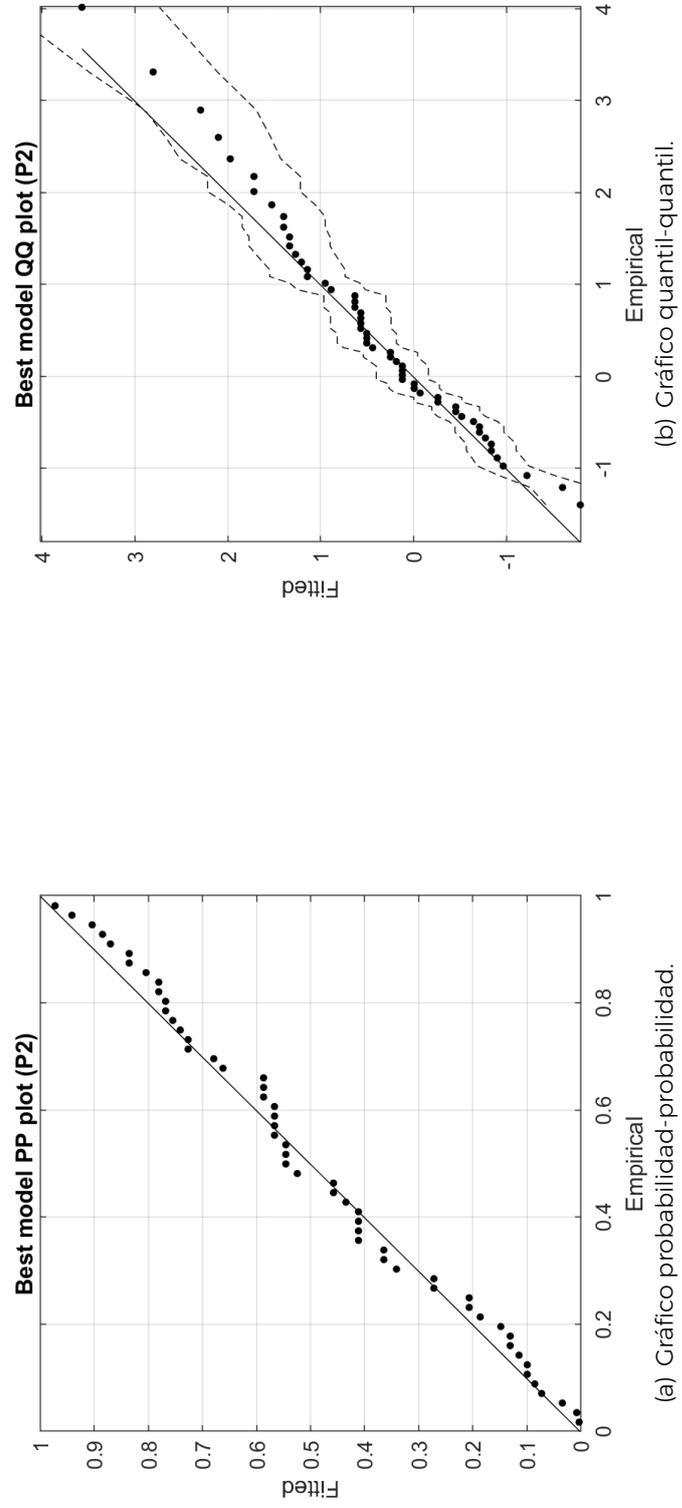


Figura 9: Gráficos de diagnóstico de ajuste del modelo GEV no estacionario para los máximo mensuales de los máxímetros en el período P2.

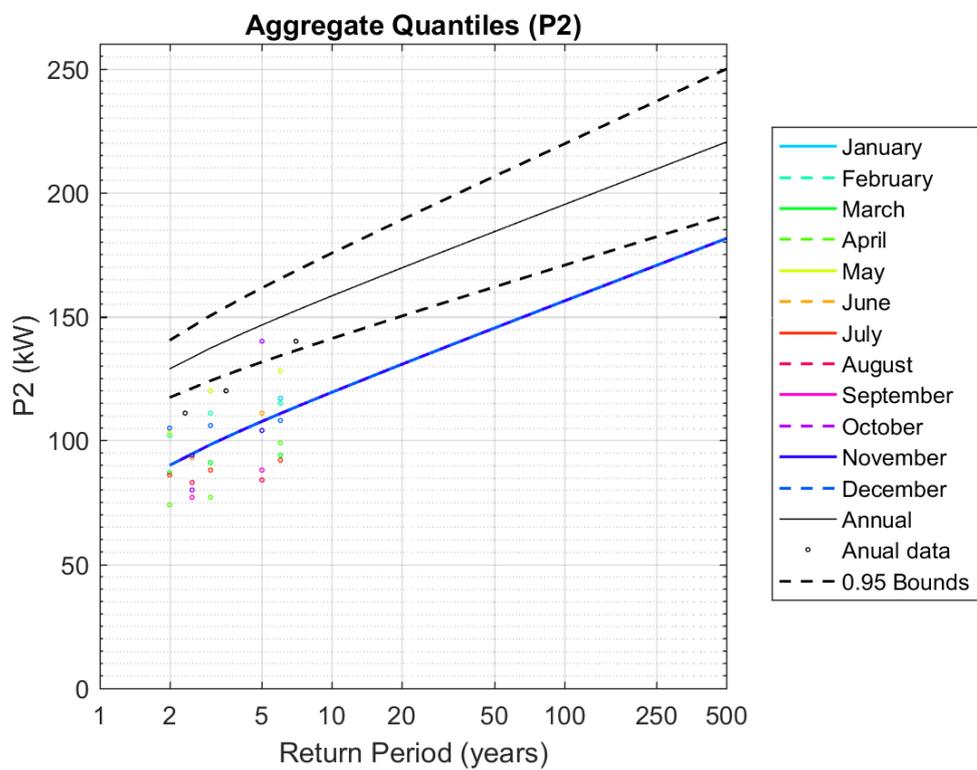


Figura 10: Gráfico de periodos de retorno de los máximos mensuales y de los máximos anuales integrando anualmente en el periodo P2.

### Ajuste del Tercer Tramo P3

El modelo ajustado y los parámetros para los valores de los máxímetros en el tramo P3, se muestran a continuación:

GEV Model:

$$F(x; \mu, \psi, \xi) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \xi \left( \frac{x - \mu}{\psi} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

$$\mu(t) = \beta_o + \sum_{i=1} [\beta_{2i-1} \cos(i\omega t) + \beta_{2i} \sin(i\omega t)] + \beta_{T1}t + \sum_k \phi_k n_{k,t}$$

$$\psi(t) = \exp \left( \alpha_o + \sum_{i=1} [\alpha_{2i-1} \cos(i\omega t) + \alpha_{2i} \sin(i\omega t)] + \beta_{T2}t + \sum_k \phi_k n_{k,t} \right)$$

$$\xi(t) = \gamma_o + \sum_{i=1} [\gamma_{2i-1} \cos(i\omega t) + \gamma_{2i} \sin(i\omega t)]$$

Model to Fit:

$$\mu(t) = \beta_o$$

$$\psi(t) = \exp(\alpha_o)$$

$$\xi(t) = \gamma_o$$

Model Fitted:

$$\mu(t) = \beta_o$$

$$\psi(t) = \exp(\alpha_o)$$

$$\xi(t) = \gamma_o$$

Results:

$$\beta_o = 77.435$$

$$\alpha_o = 2.804$$

$$\gamma_o = -0.41468$$

En este caso el parámetro de localización no tiene una variación clara a lo largo del año y por ese motivo los parámetros de localización, escala y forma son constantes. Como el parámetro de forma es negativo, el ajuste se corresponde con una Weibull de máximos.

En la Figura 11 se muestran los máximos mensuales correspondientes a los registros de los máxímetros en el tramo P3, la evolución del valor medio a lo largo del año, así como el cuantil del 95 %. Como puede comprobarse con claridad, no hay una patrón claro de estacionalidad con valores altos registrados a lo largo de todo el año.

La bondad del ajuste se puede comprobar en los gráficos de diagnóstico probabilidad-probabilidad y cuantil-cuantil mostrados en la Figura 12. Como puede comprobarse los ajustes son buenos con valores cercanos a la diagonal.

Por último, en la Figura 13 se muestran los periodos de retorno mensuales y anuales ajustados, junto con los valores empíricos. Nótese que al tratarse de un modelo sin

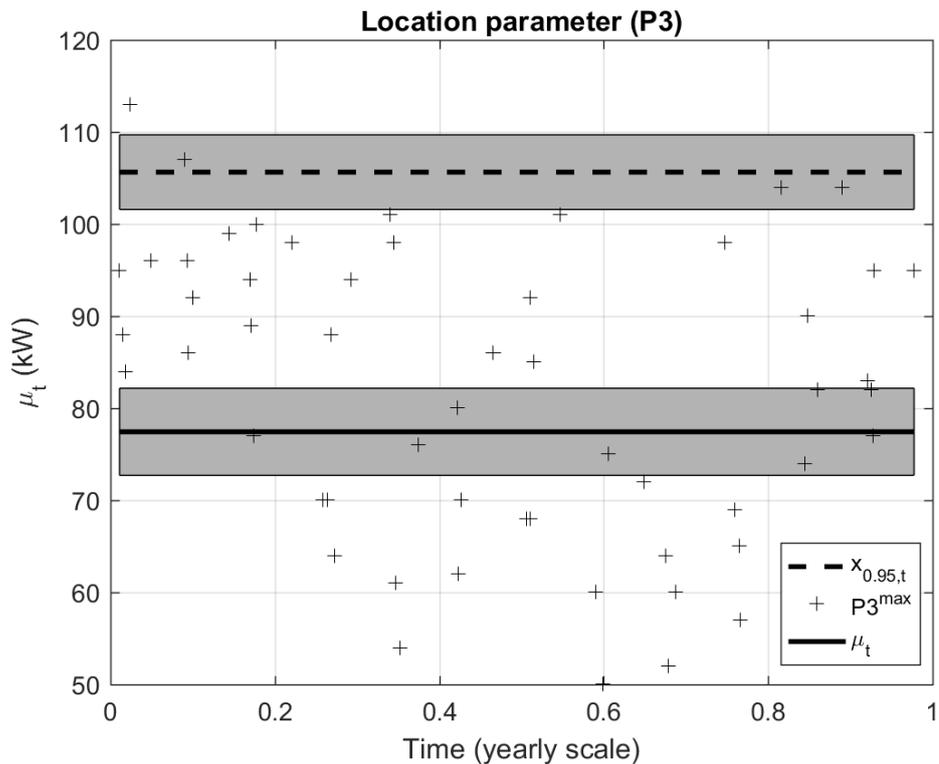


Figura 11: Máximos mensuales correspondientes a los registros de los máxímetros en el tramo P3, la evolución del valor medio ajustado a lo largo del año, así como el cuantil del 95 %

estacionalidad, los periodos de retorno mensuales para todos los meses son iguales y se superponen en una sola línea. La información de este gráfico es sumamente útil para conocer en número medio de años que han de transcurrir entre la ocurrencia de registros de máxímetros en cada uno de los meses, o en el año. Así por ejemplo:

- El alcanzar 106 kW en P3 abril ocurre como media cada 20 años.
- La superación de 102 kW en cualquier mes ocurre como media cada 10 años.
- El alcanzar 116 kW de máximo anual ocurre como media cada 500 años.

Nótese que al tratarse de un ajuste Weibull (valores negativos del parámetro de forma), se trata de una cola acotada.

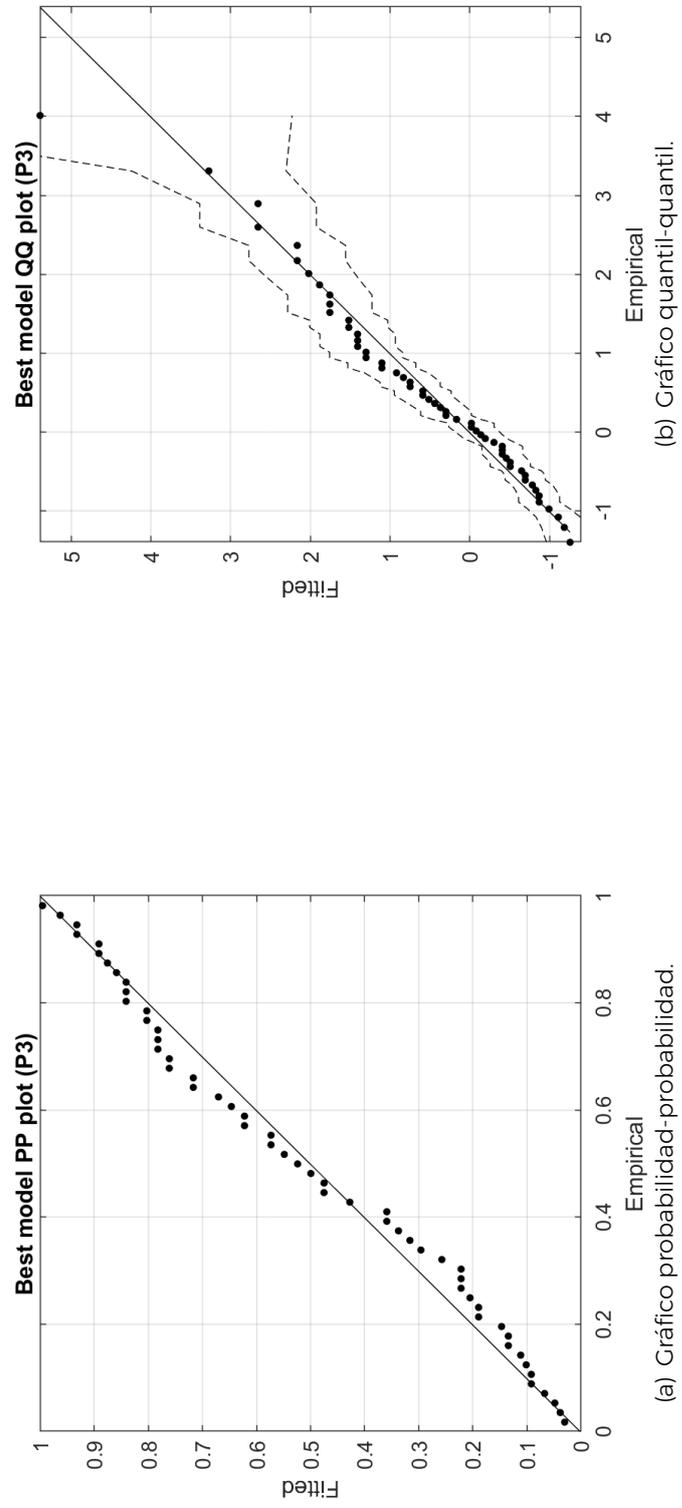


Figura 12: Gráficos de diagnóstico del ajuste del modelo GEV no estacionario para los máximos mensuales de los máxímetros en el periodo P3.

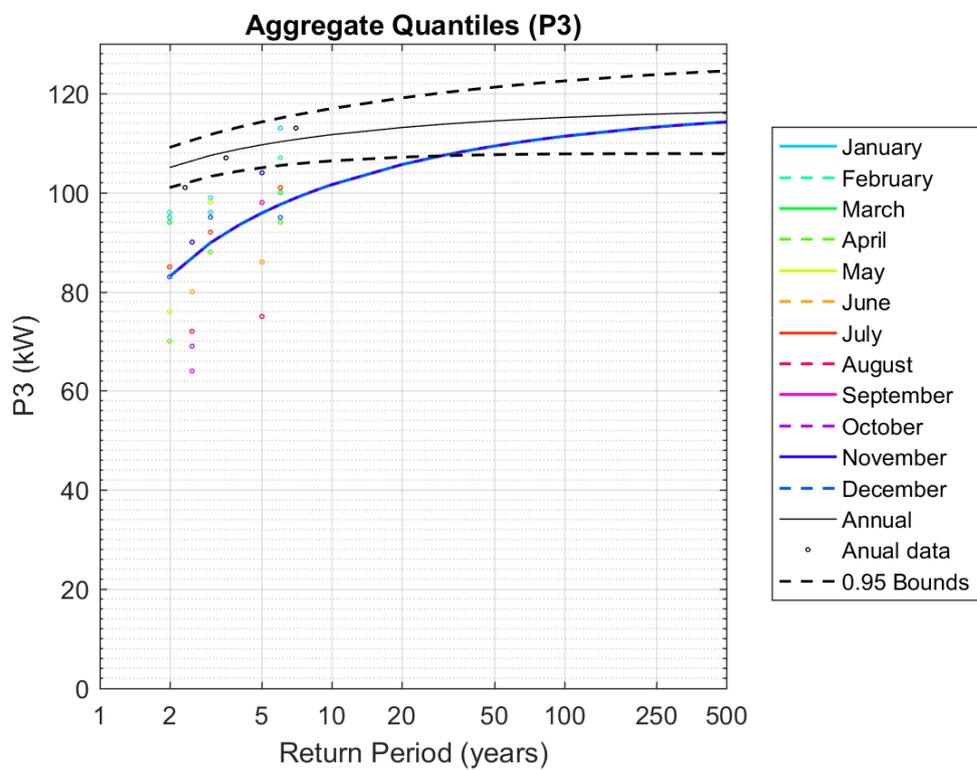


Figura 13: Gráfico de periodos de retorno de los máximos mensuales y de los máximos anuales integrando en el año en el periodo P2.

| Variables      |                | $\rho$ | p-valor |
|----------------|----------------|--------|---------|
| P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | 0.3800 | 0.0042  |
| P <sub>1</sub> | P <sub>3</sub> | 0.1549 | 0.2588  |
| P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | 0.2048 | 0.1337  |

Tabla 3: Correlaciones entre valores máximos de los tres periodos.

### Análisis de correlaciones y autocorrelación temporal

Si se analizan las posibles correlaciones entre máximos mensuales asociados a distintos periodos se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 3. Nótese que la única correlación estadísticamente significativa al 99 % es la de los periodos P1 y P2, con un valor de 0.38 por tener p-valores menores del 1 %.

Otro aspecto importante es la autocorrelación entre registros, para corroborar que los máximos mensuales no dependen del mes anterior. Este efecto se analiza en la Figura 14. Nótese que en los casos de los periodos P1 y P2, los valores están dentro de las bandas de confianza, con lo cual no hay una dependencia temporal significativa. Sin embargo, en el caso de los máximos del tercer periodo, hay una autocorrelación de orden 1 estadísticamente significativa, sin embargo, se va a obviar de cara a este estudio preliminar.

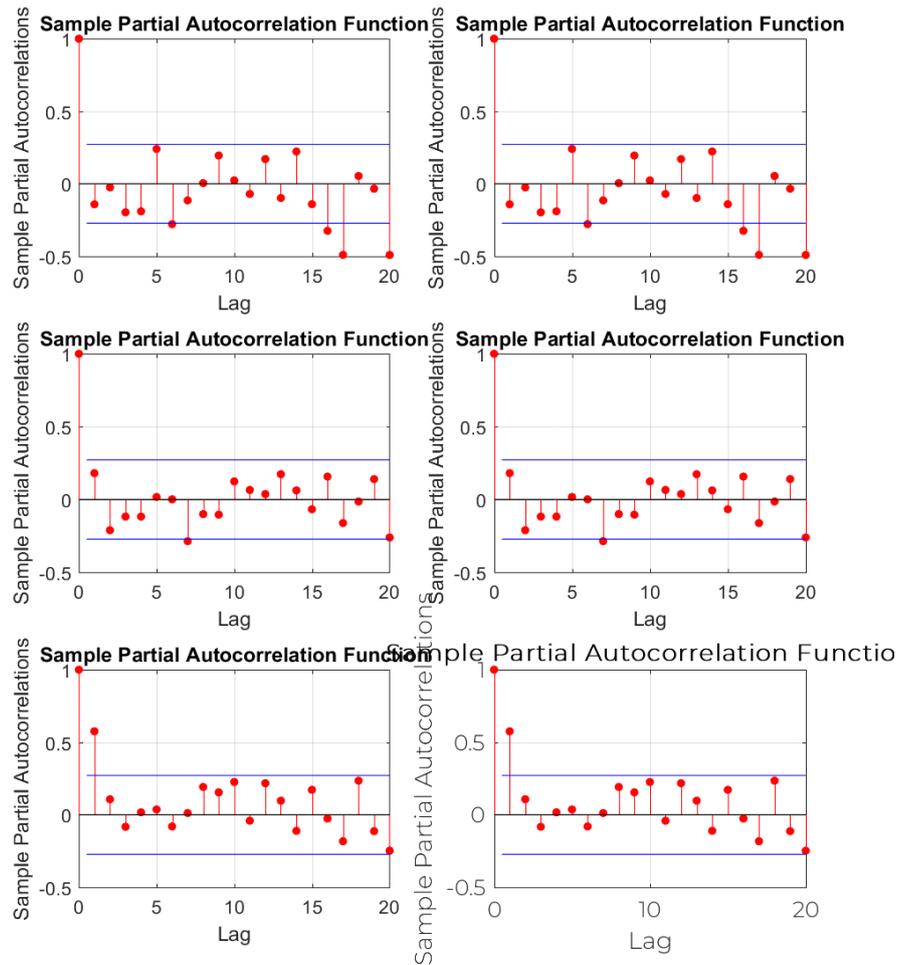


Figura 14: Gráficos de autocorrelación y autocorrelación parcial de los máximos de los tres periodos considerados.

# Bibliografía

- [1] R. Mínguez, F. J. Méndez, C. Izaguirre, M. Menéndez, and I. J. Losada. Pseudo-optimal parameter selection of non-stationary generalized extreme value models for environmental variables. *Environmental Modelling & Software*, 25:1592–1607, 2010.

# ESCISSION

STOCHASTIC OPTIMIZATION

[escission.com](https://escission.com)