

# **Cambios en la dependencia CMG( iPetroleo) asociada a los cambios en la matriz de generación.**

Brehm Grieco Marcelo Daniel

Garcia Fischer Agustin

Santos Sosa Alejandro Ruben

Trigo Valverde Leonardo

*Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING*

*Trabajo final curso SimSEE edición 2018  
Montevideo - Uruguay.*

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados. Ni la Facultad de Ingeniería, ni el Instituto de Ingeniería Eléctrica, ni el o los docentes, ni los estudiantes asumen ningún tipo de responsabilidad sobre las consecuencias directas o indirectas que asociadas al uso del material del curso y/o a los datos, hipótesis y conclusiones del presente trabajo.

## **1) Objetivo.**

El trabajo consiste en obtener los histogramas de los costos marginales y el valor del agua de Bonete en la sala de largo plazo, pre-fijando el precio del petróleo en 50, 100 y 150 USD/bbl. Este estudio se debe realizar sobre una sala con expansión eólica y solar y con la misma sala sin estas expansiones, instalando centrales térmicas de 150 USD/MWh de costo variable incremental para un precio del petróleo de 50 USD/bbl e indexadas con el precio del petróleo.

El objetivo es poder identificar si es válido o no decir que la relación de los valores del agua de Bonete y el costo marginal obtenidos en las diferentes salas es proporcional a la relación del precio del petróleo pre-fijado (o sea si el lineal la dependencia).

La sala de largo plazo utilizada fue la suministrada en el curso, esta sala ya tenía la expansión eólica y solar solicitada, la cual luego se modificó para obtener el caso de generación térmica sin expansión eólica y solar.

Para la obtención y procesamiento de la información, se utilizó la herramienta SimRes3 que se encuentra dentro del SimSEE.

En el paso de optimización previo a la simulación se estudia la planilla *optBonete* en cada paso de tiempo (paso semanal), para observar el comportamiento del valor del

agua según los posibles niveles de la cota de Bonete y el estado hidrológico del embalse.

## **2) Hipótesis de trabajo.**

Tomamos la sala de largo plazo proporcionada en el curso, la cual ya tenía las expansiones eólica y solar. Se tomaron los costos variables de los generadores térmicos existentes a 50 USD/bbl e indexado con la variación del petróleo (WTI).

Al momento de instalar centrales térmicas para el caso de expansión térmica, no tomamos en cuenta el costo de instalación ni el costo del dinero para la planificación, tampoco los tiempos de ejecución de los proyectos.

La sala proporcionada es de paso semanal, con un horizonte de optimización desde 2015 al 2049 y de simulación del 2016 al 2046. La demanda hasta el 2021 está realizada según el PEST análisis "Político, Económico, Social y Tecnológico" y luego un crecimiento de 2.5% anual. Los actores térmicos se modelaron con un escenario básico de WTI a 50 USD/bbl e indexado al valor del petróleo, cuya proyección fue según la EIA ( Agencia Internacional de Energía). Cuenta con expansión de parques eólicos y plantas solar de 50MW con pago de energía de 69 USD/MWh y 94 USD/MWh respectivamente.

## **3) Metodología.**

Se realizaron 6 simulaciones, con dos tipos de matrices de generación, renovable y térmicas y tres valores de petróleo 50, 100 y 150 USD/bbl.

La matriz de generación renovable fue la suministrada, asumiendo el costo del petróleo a 50 USD/bbl. Para variar el valor del petróleo, se creó una fuente constante llamada "N", que fue establecido en 1 para simular el valor de petróleo a 50 USD/bbl, 2 para 100 USD/bbl y 3 para 150 USD/bbl, la fuente N multiplica a la fuente iPetroleo para simular los cambios en el valor de petróleo deseados.

La matriz de generación térmica se generó a partir de la sala suministrada, quitando las expansiones eólicas y solares e ir instalando centrales térmicas hasta cumplir con la demanda, en este proceso, se fue observando la tasa de falla buscando minimizarla, para ello se fue evaluando en que fechas y cuanta potencia instalar. Para simular los diferentes valores de petróleo se procedió de la misma forma que en la matriz de generación renovable.

Para la toma de datos de la simulación utilizamos el SimRes3, donde en operaciones crónicas fuimos guardando la generación de potencias, divididas por Hidráulica, Biomasa, Eólica, Solar y Térmica, la Demanda, la potencia de falla, el costo variable de Bonete (que se encuentra en USD/Hm3).

Luego utilizamos post-operaciones (en SimRes3) para pasar las potencias que se encontraban en pasos semanales a anuales y el costo variable del agua lo calculamos en USD/MWh.

Otras de las herramientas utilizadas para el estudio del valor del agua, fue generar el

archivo de optimización del actor Bonete (*optBonete*) y estudiar que pasaba en un paso semanal con el valor del agua para todos los escenarios planteados.

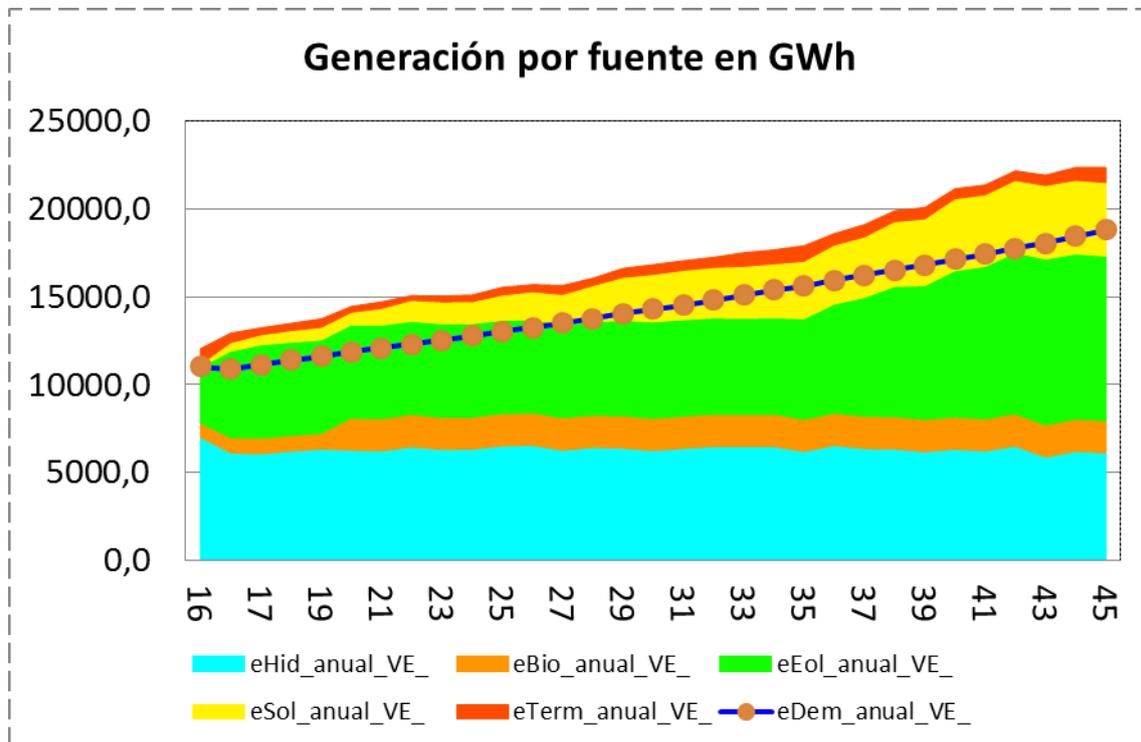
Luego de la obtención de los datos de las diferentes simulaciones, estos se procesaron en Excel para obtener las relaciones de los resultados entre los casos para el petróleo a 100 USD/bbl y 150 USD/bbl ambos contra el caso de 50 USD/bbl, para las dos matrices y observar si las relaciones son lineales.

#### 4) Resultados del estudio.

A continuación se mostrara los resultados mediante gráficos de los datos que consideramos pertinentes a la hora de la simulación, para todos los escenarios planteados.

#### Simulación con expansión eólica y solar

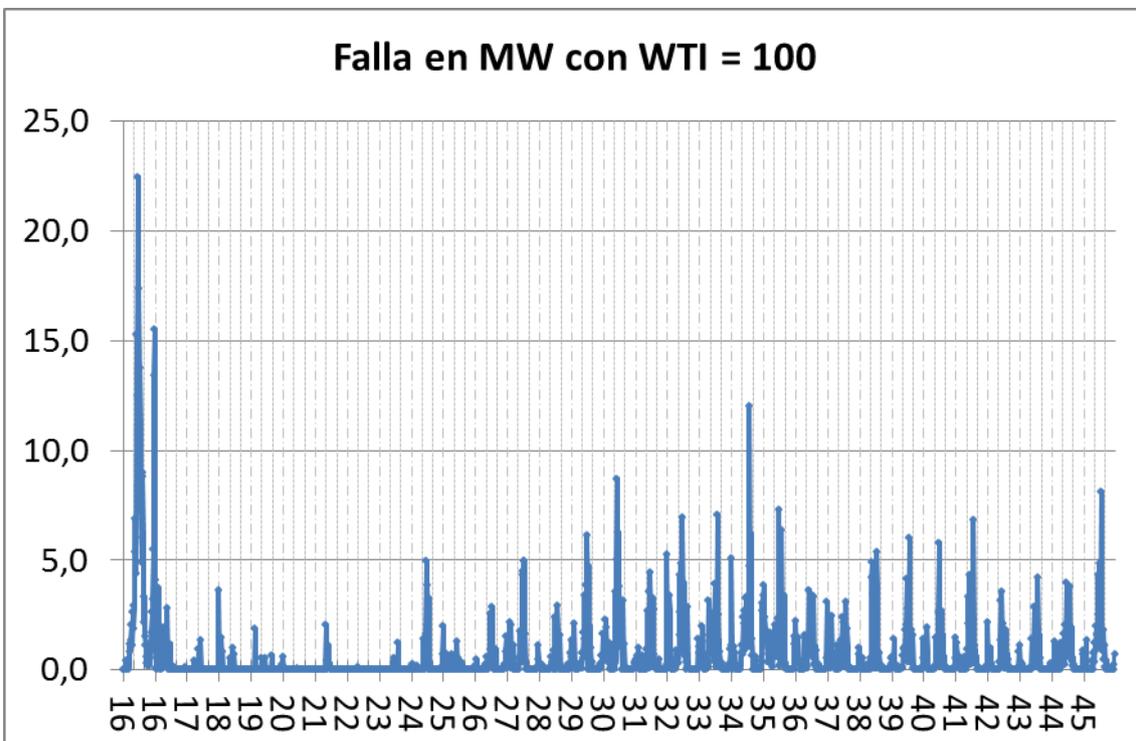
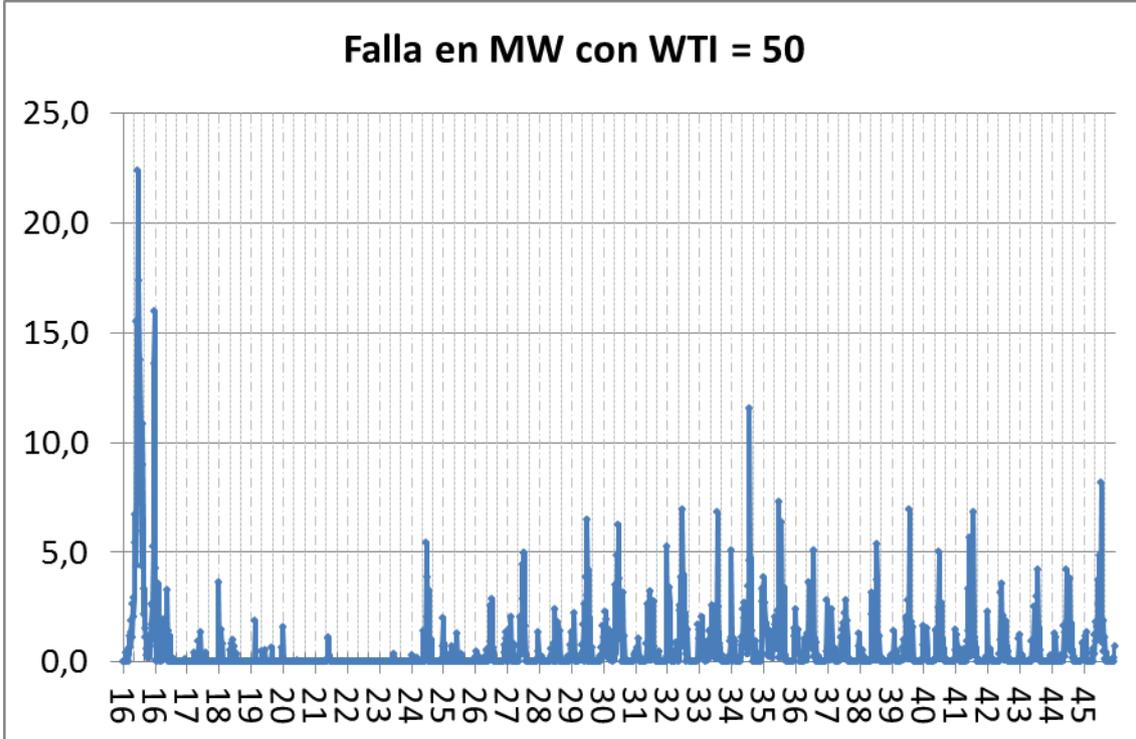
##### Generación

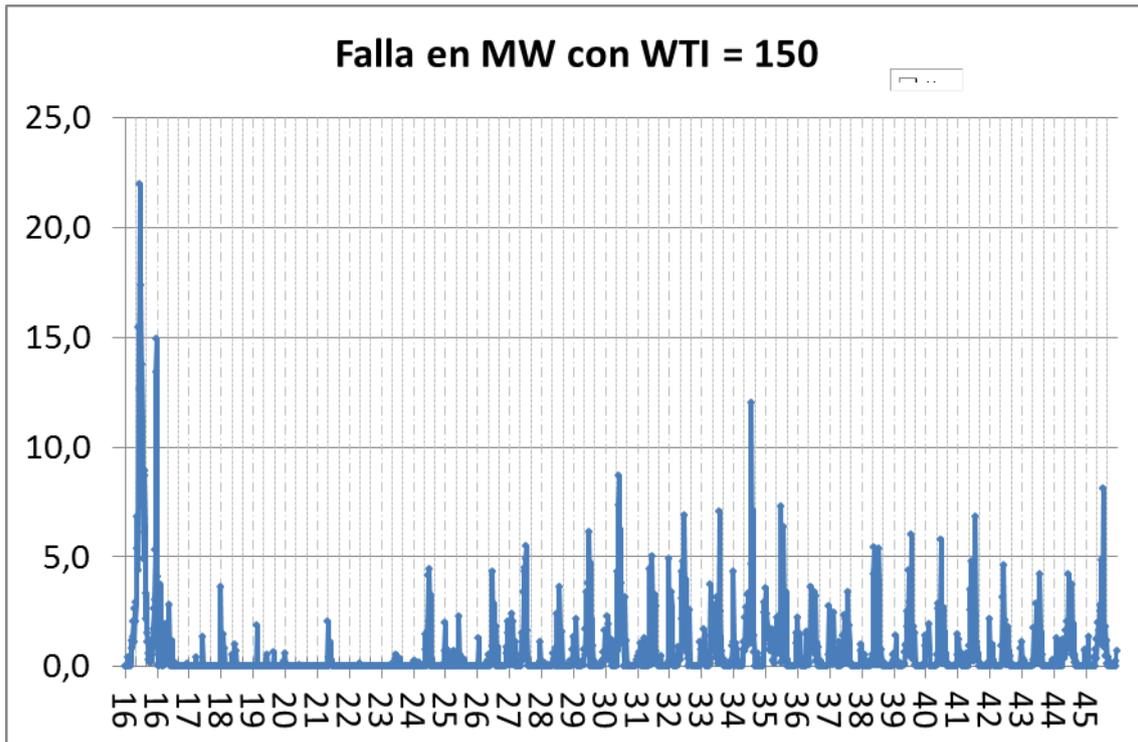


Esta proyección de la expansión de la demanda y la expansión de la generación fue suministrada por la Sala de largo Plazo.

**Potencia de Falla para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**

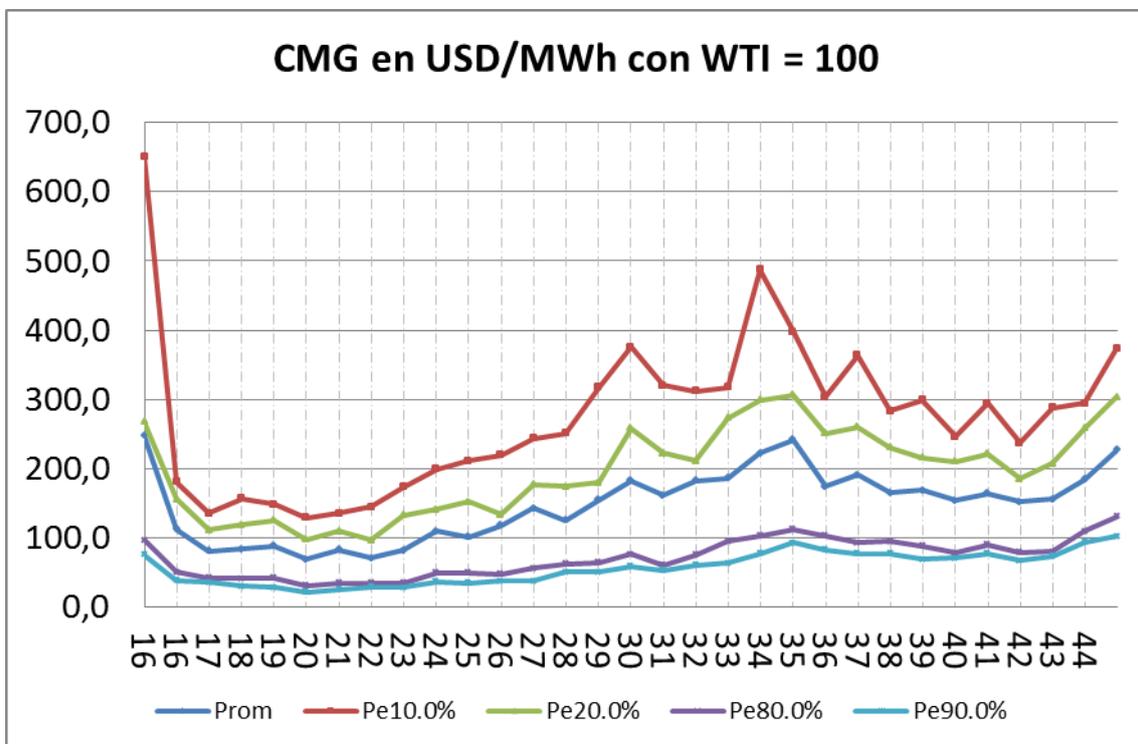
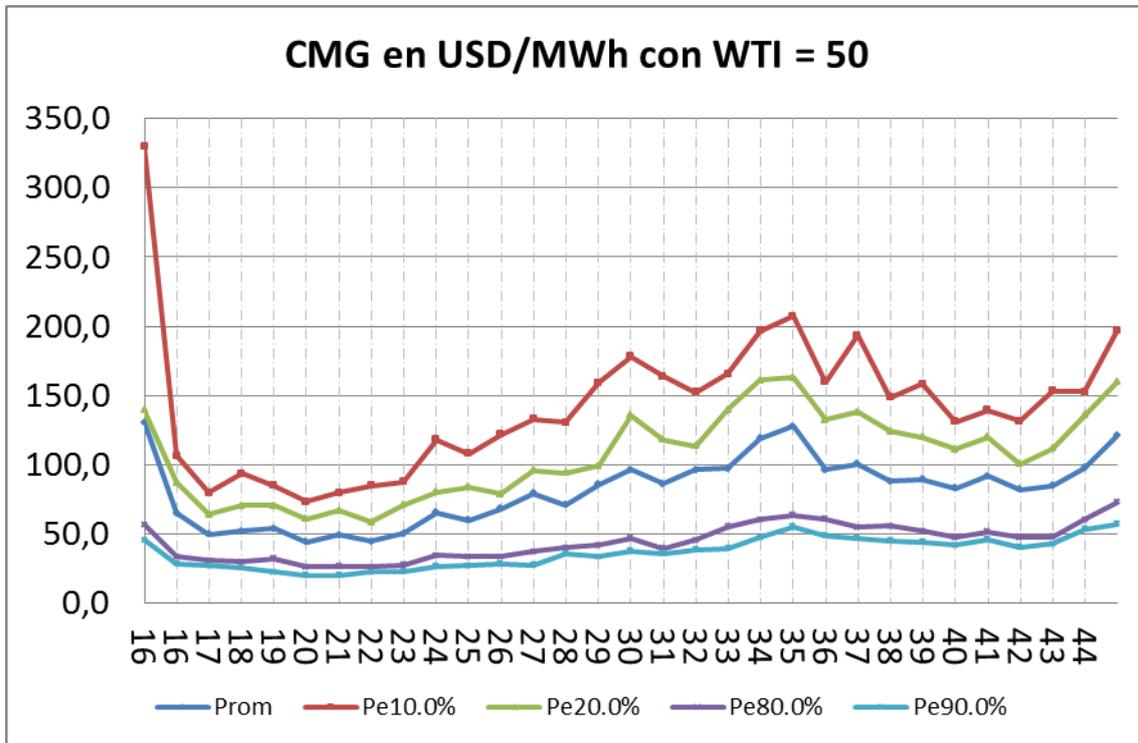
Se evaluaron la Potencia de Fallas como forma de control y verificación de que no teníamos problemas con el suministro de potencia.

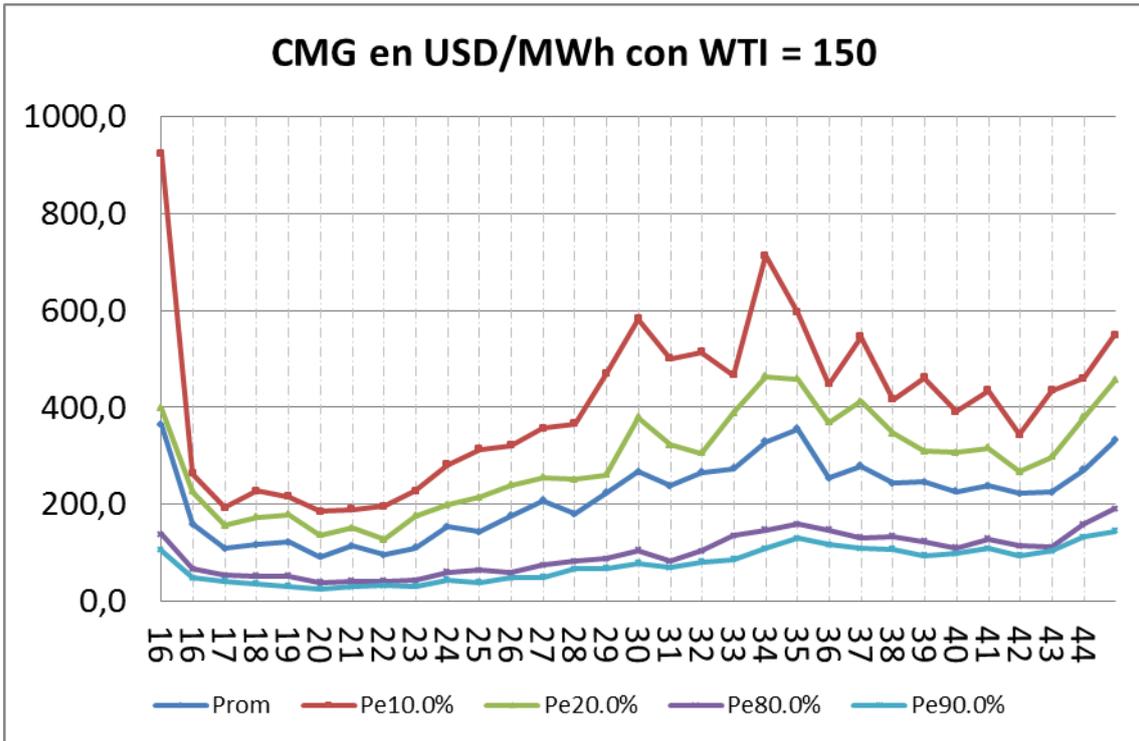




**Costos Marginales para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**

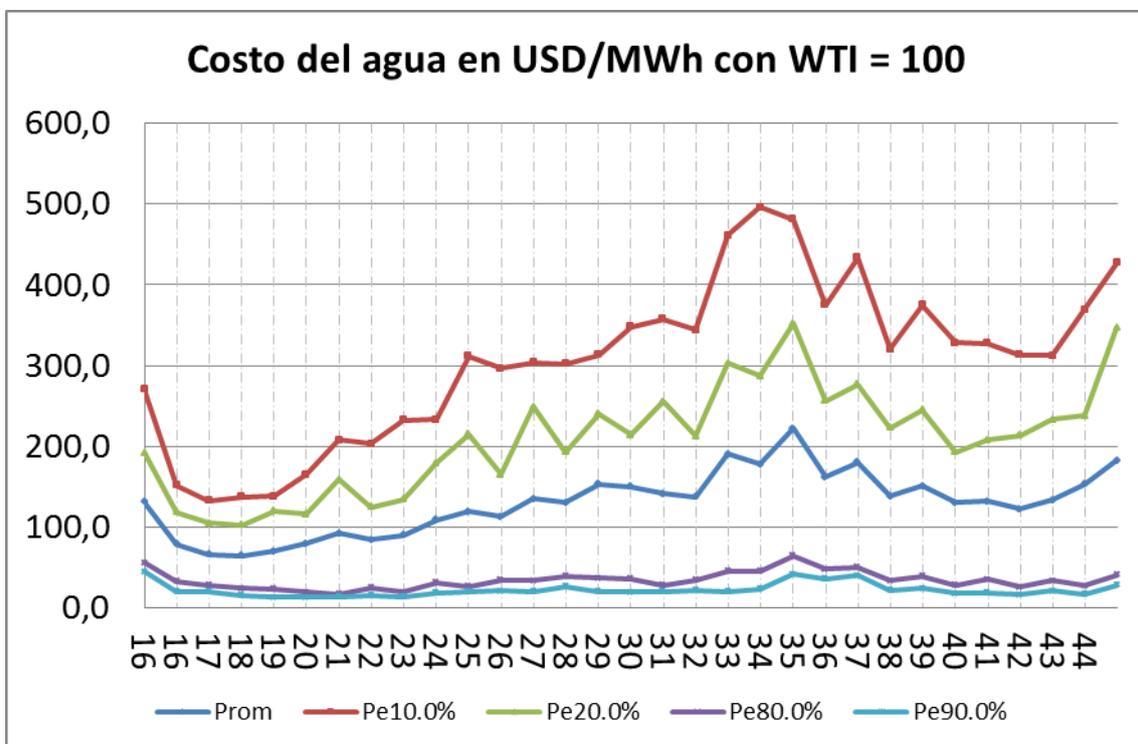
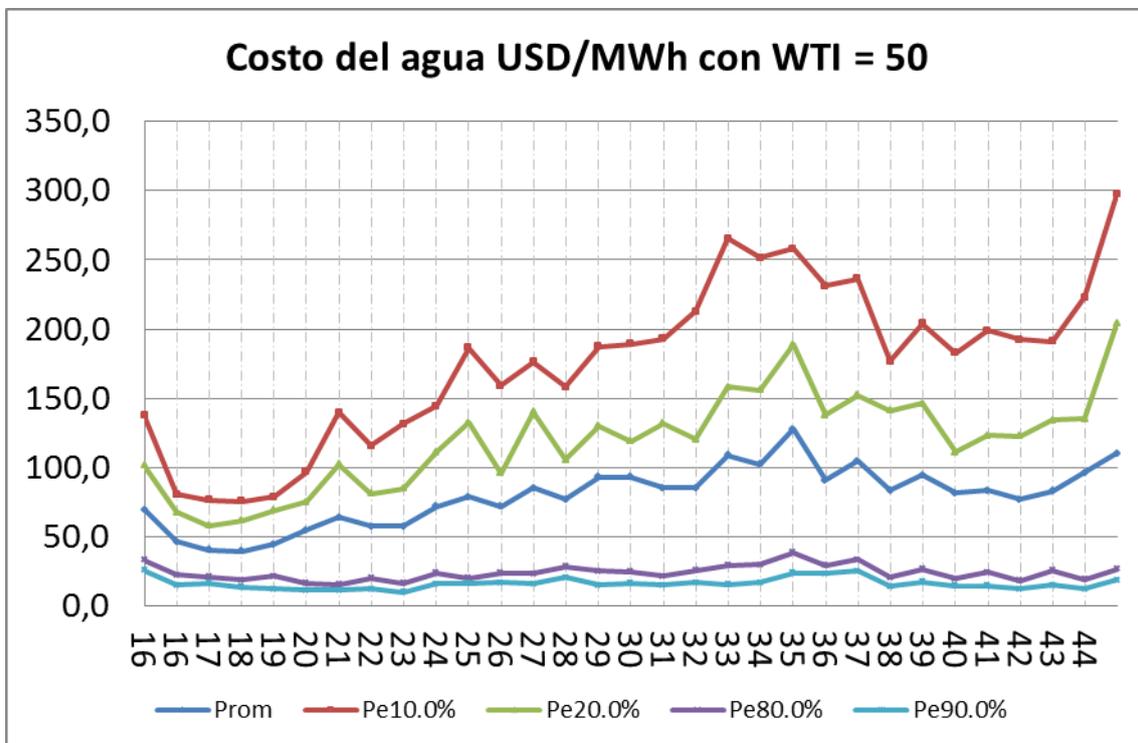
Se evaluaron los Costos Marginales en función de los tres precios del petróleo.

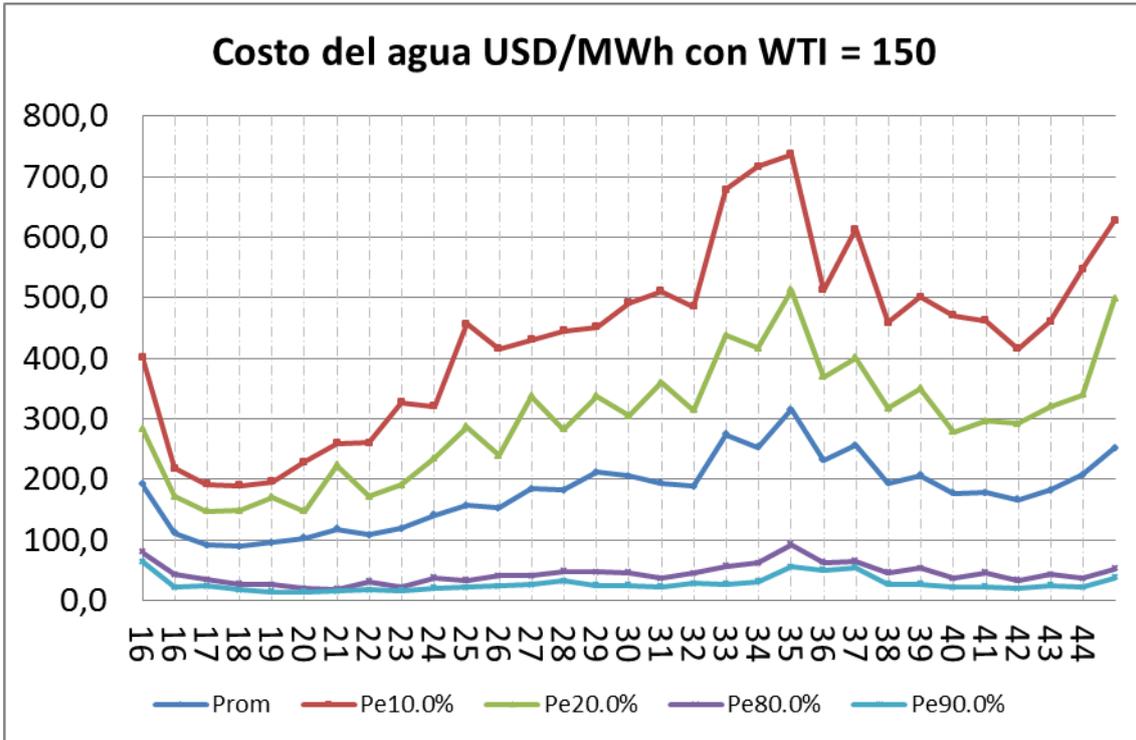




**Costo del agua para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**

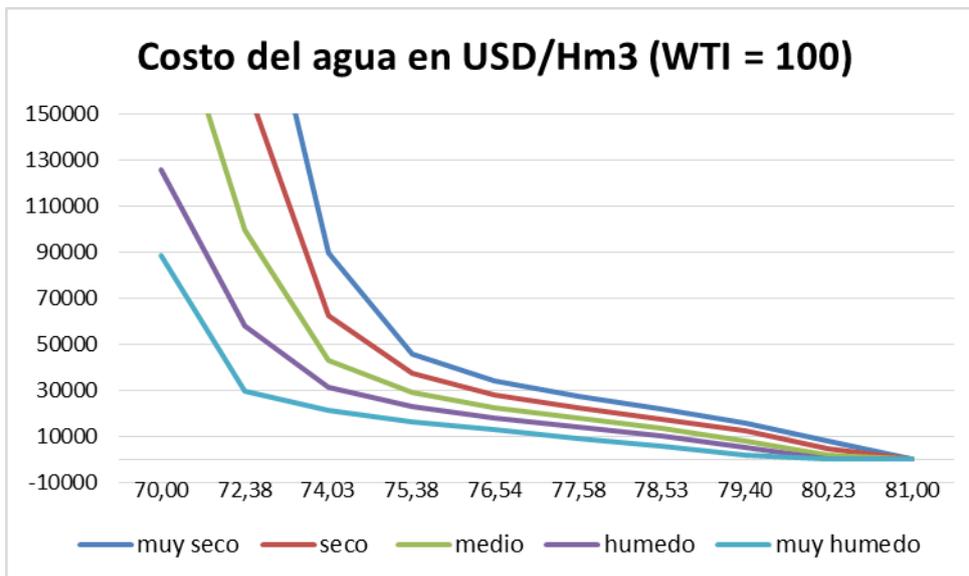
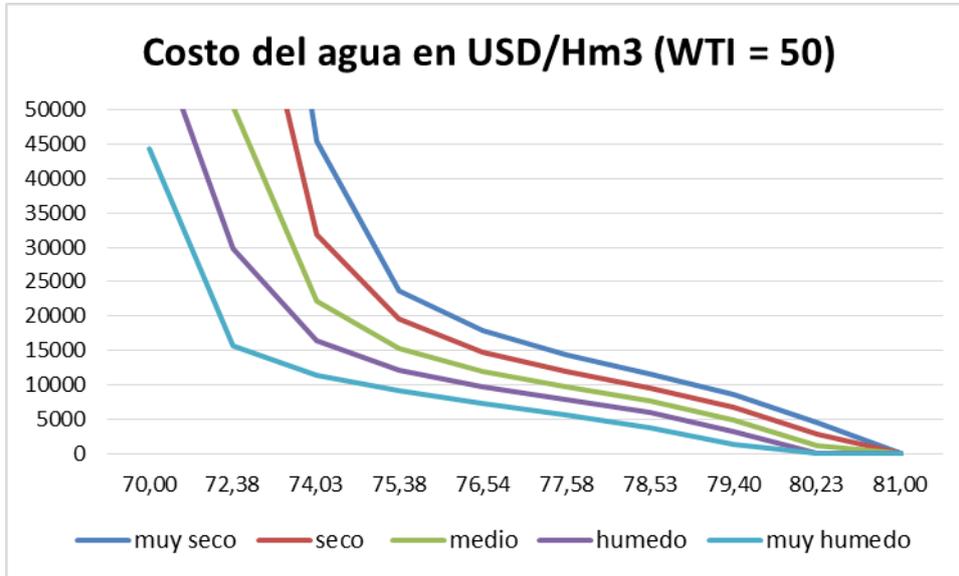
Se evaluaron los Costos del Agua en función de los tres precios del petróleo.

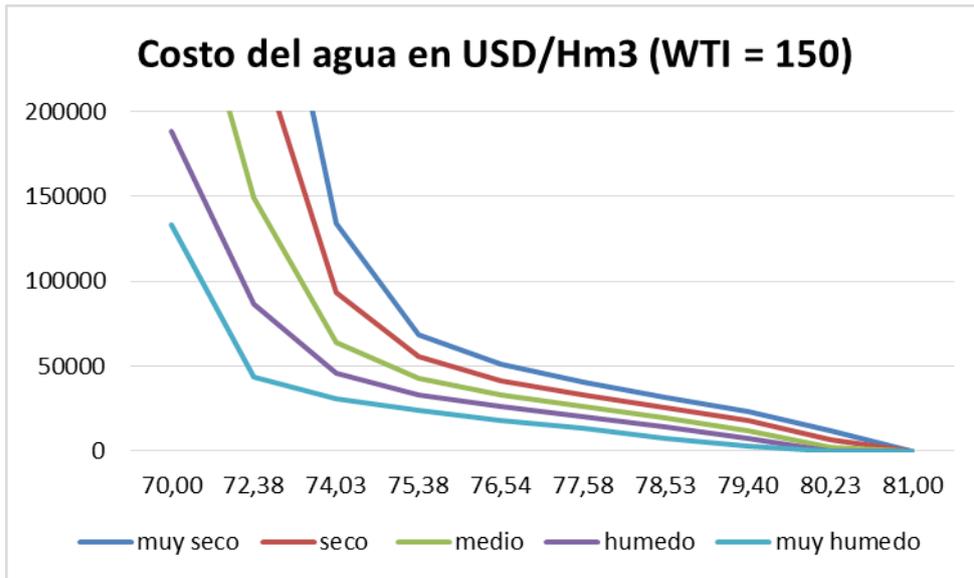




**Costo del agua en Bonete estudiado de la optimización de Bonete para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**

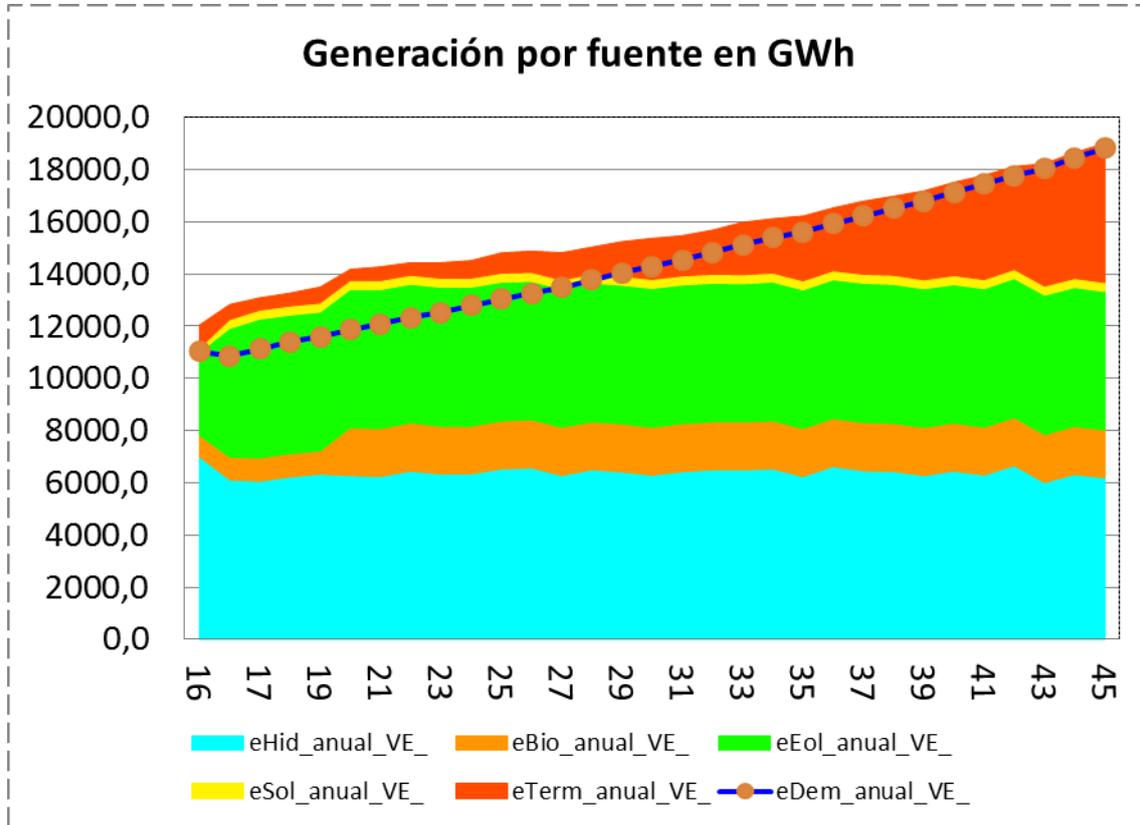
Se evaluó el valor del agua de Bonete a partir del archivo de optimización de Bonete para una semana del mes de Noviembre de 2016. En los siguientes gráficos se observa en las abscisas la cota del lago de Bonete y cada uno de los gráficos representa un estado hidrológico del embalse.





## Simulación con expansión térmica

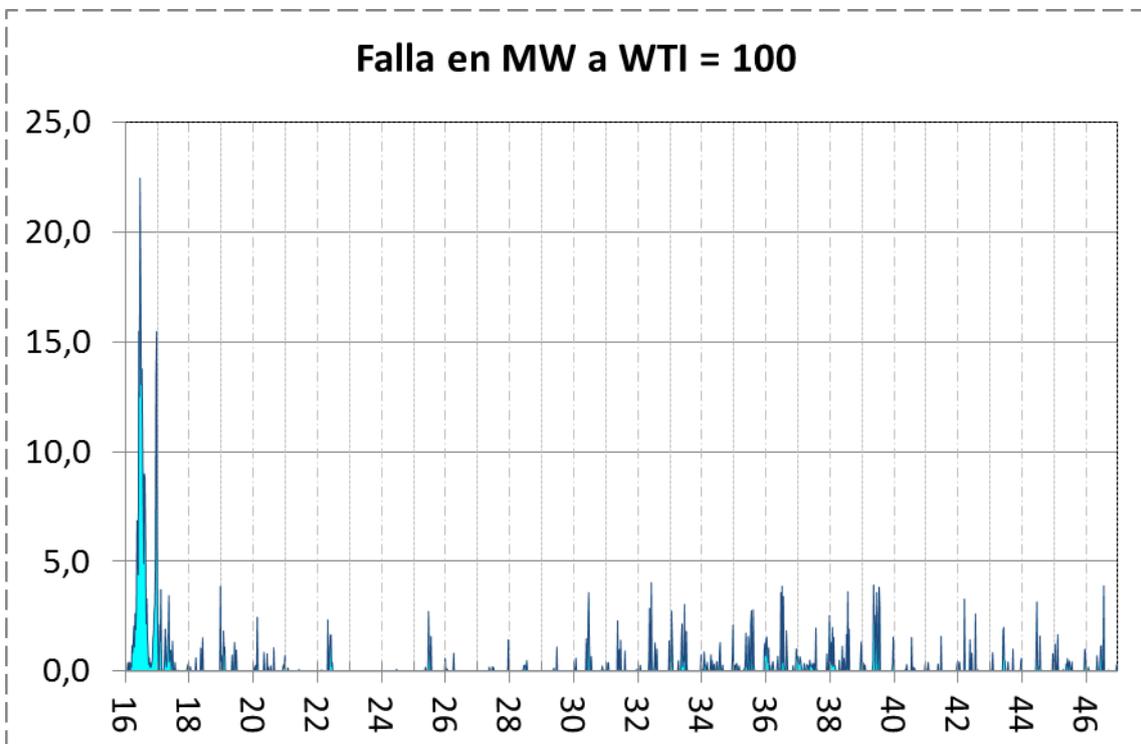
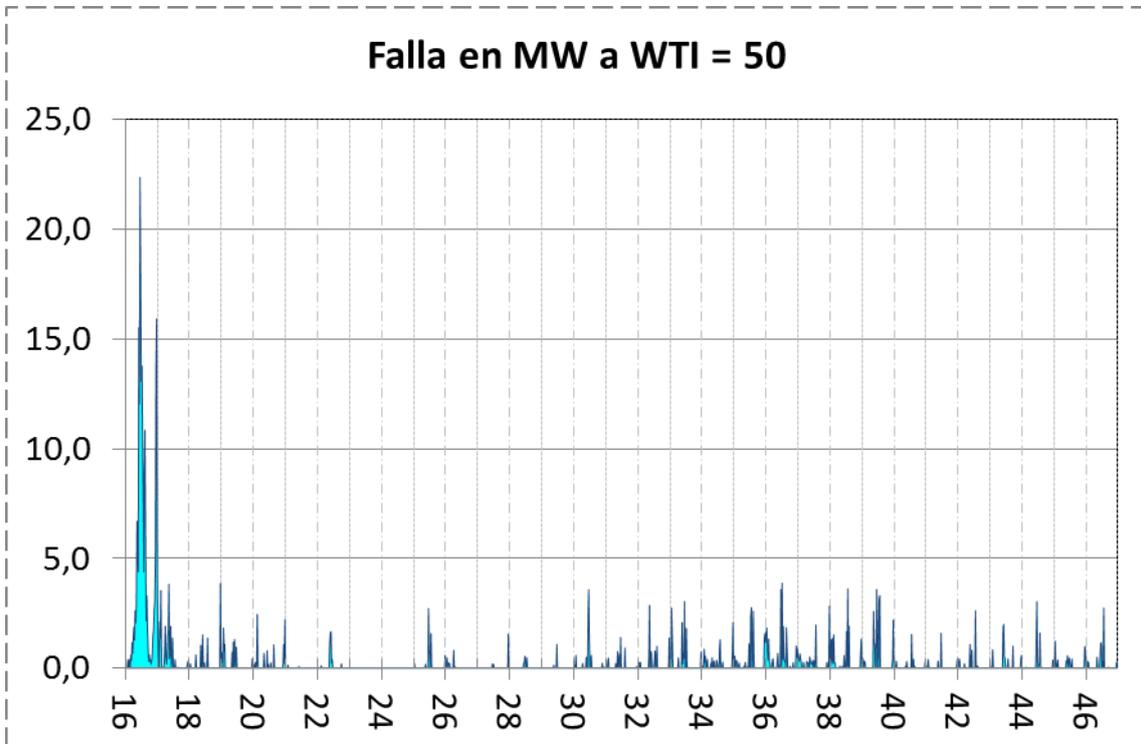
### Generación

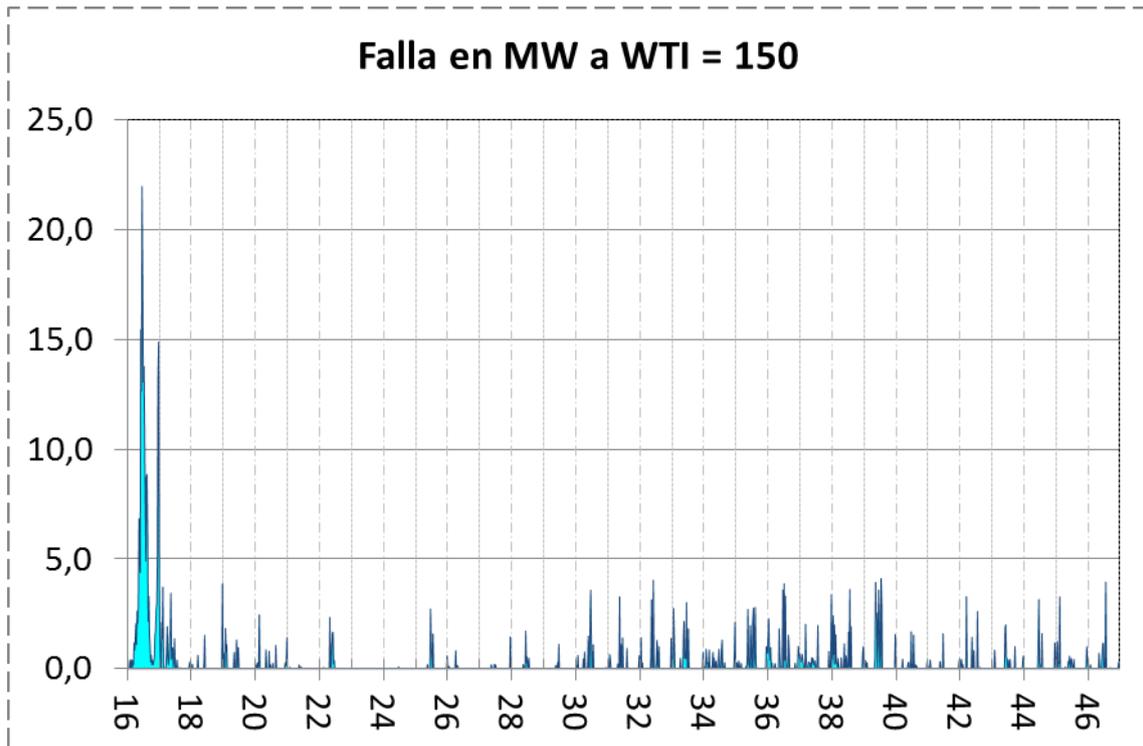


Usando la Sala de largo Plazo suministrada en el curso, se mantuvo la expansión de la demanda y se quitó la expansión de la generación eólica y solar. Luego fuimos agregando expansión térmica para cumplir con la demanda. Usamos la curva de Potencia de Falla para tener un control de no excedernos o quedarnos cortos de la potencia instalada para cumplir con la demanda.

**Potencia de Falla para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**

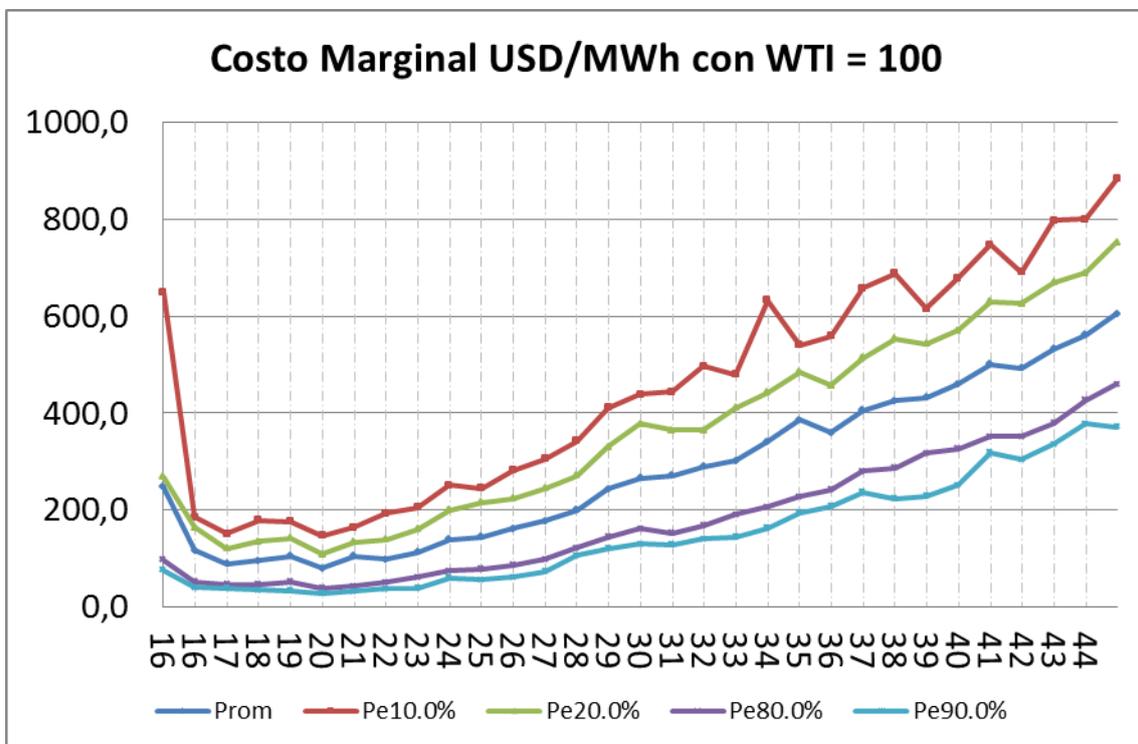
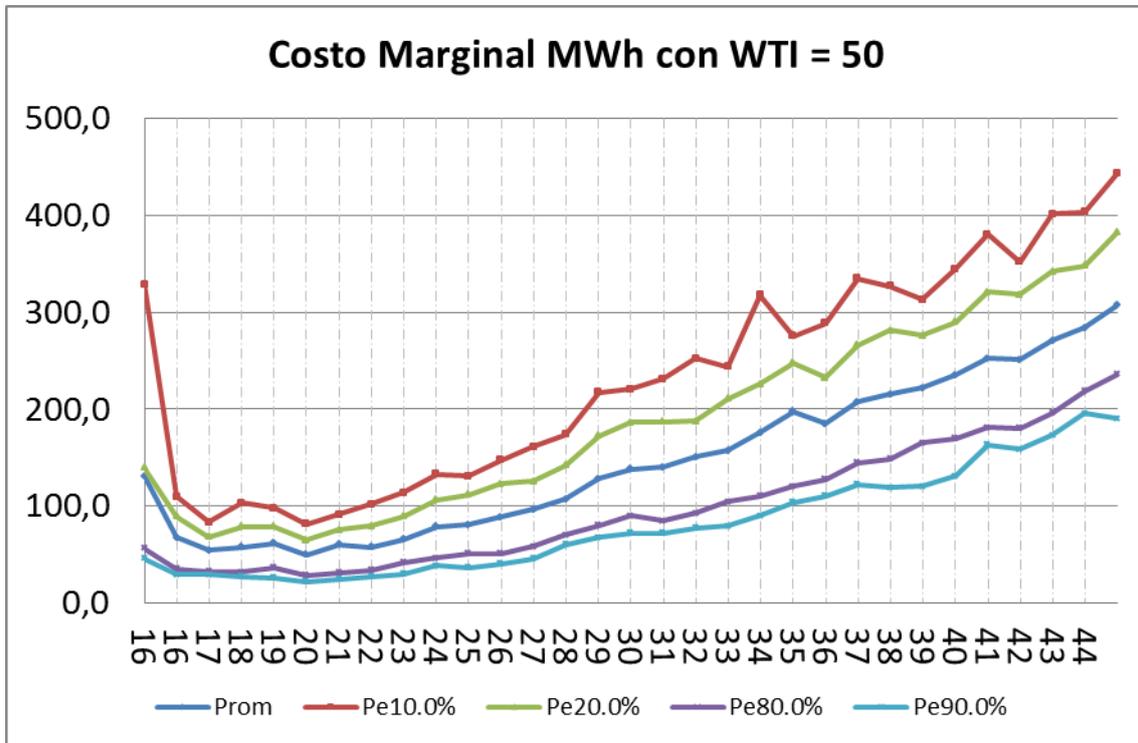
Se evaluaron la Potencia de Fallas como forma de control y verificación de que no teníamos problemas con el suministro de potencia.

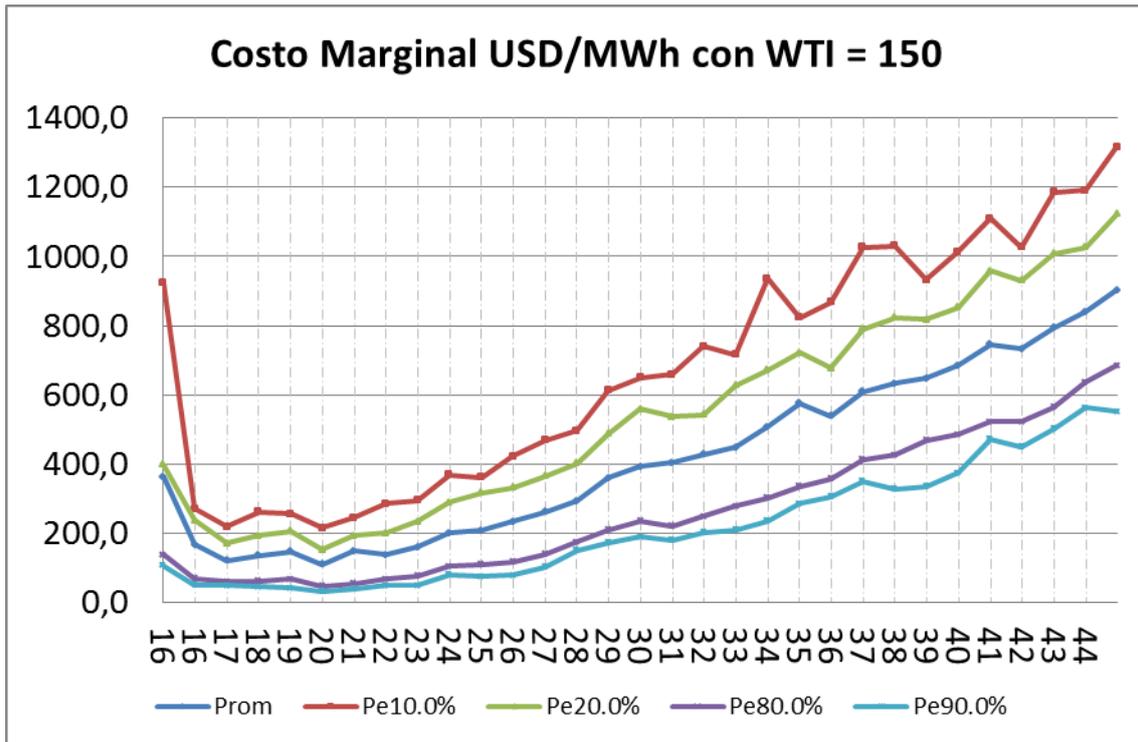




**Costos Marginales para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**

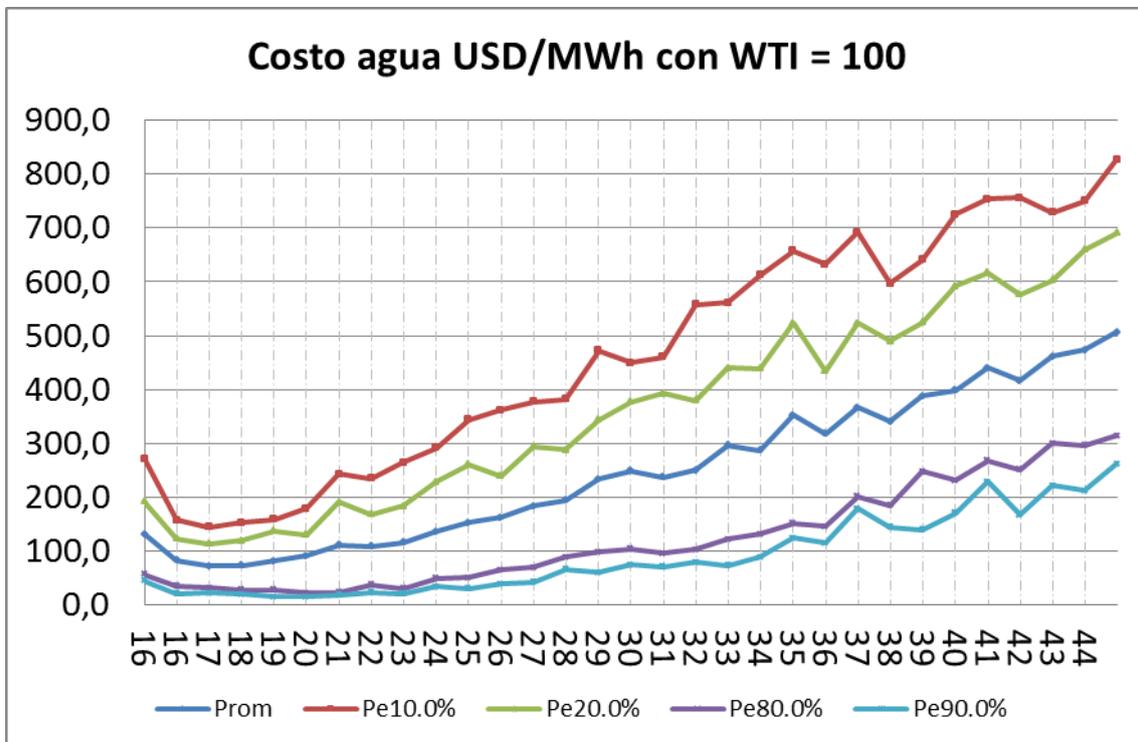
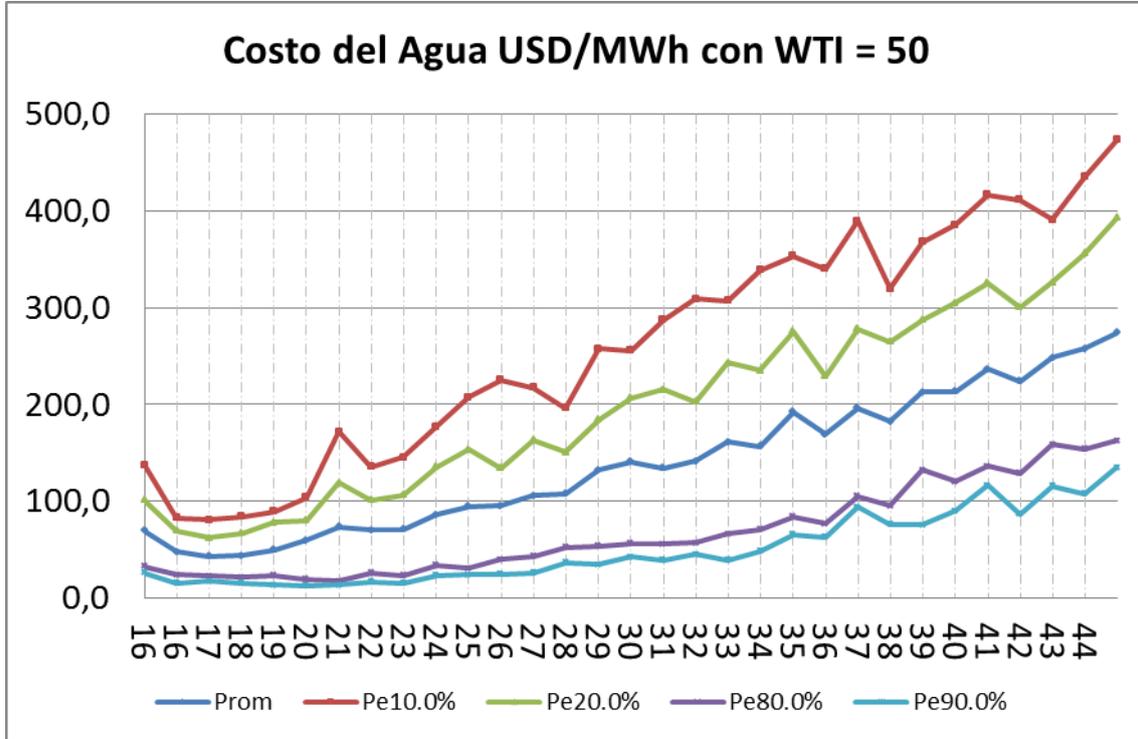
Se evaluaron los Costos Marginales en función de los tres precios del petróleo.

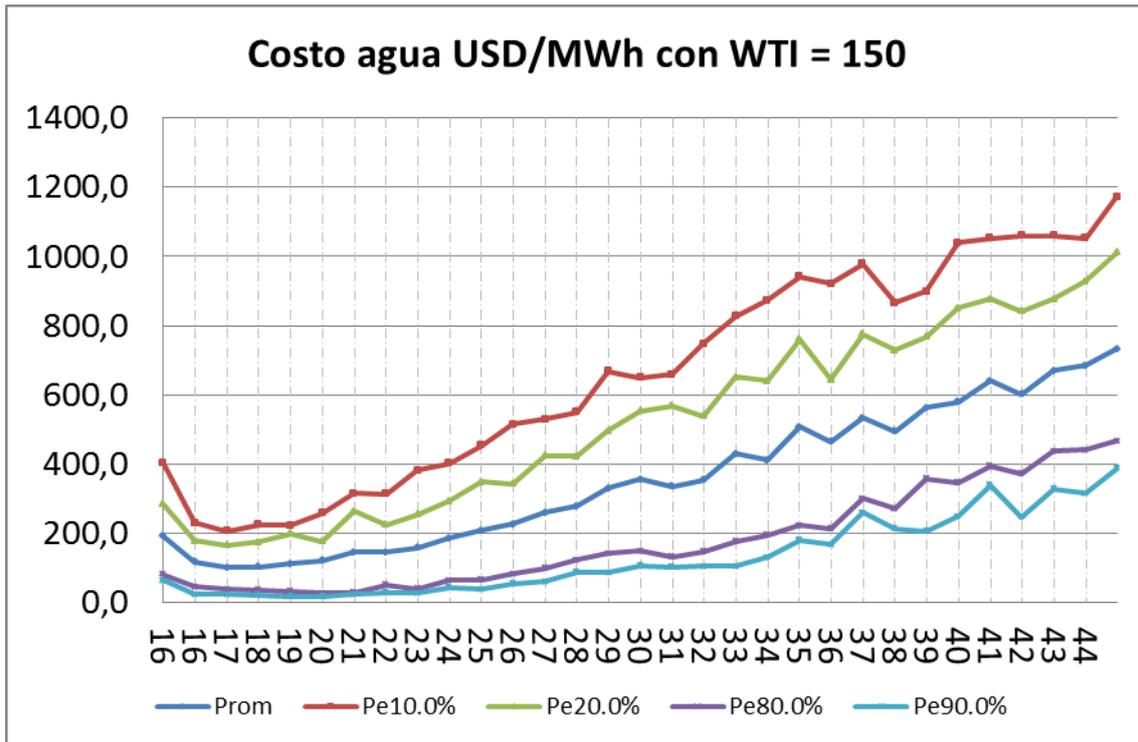




**Costo del agua para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**

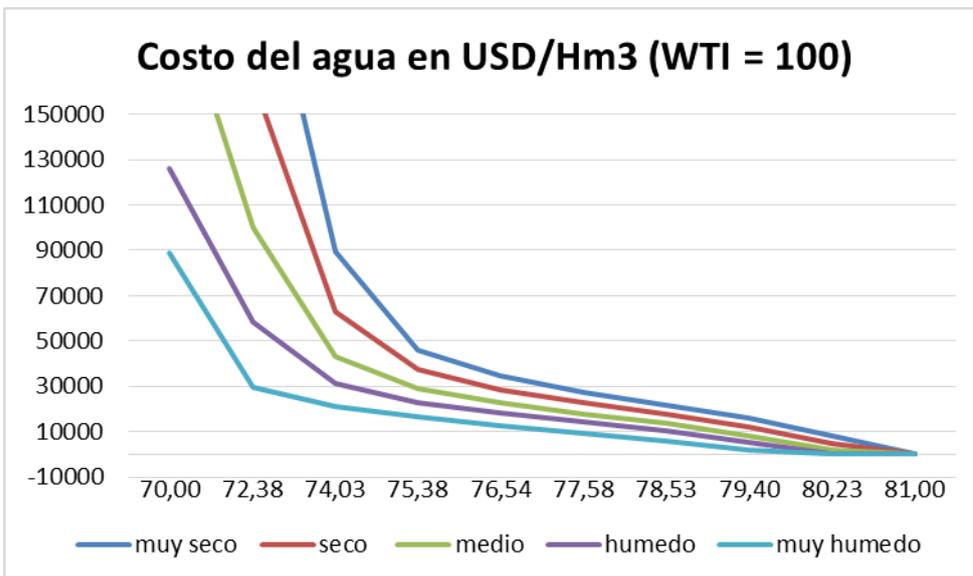
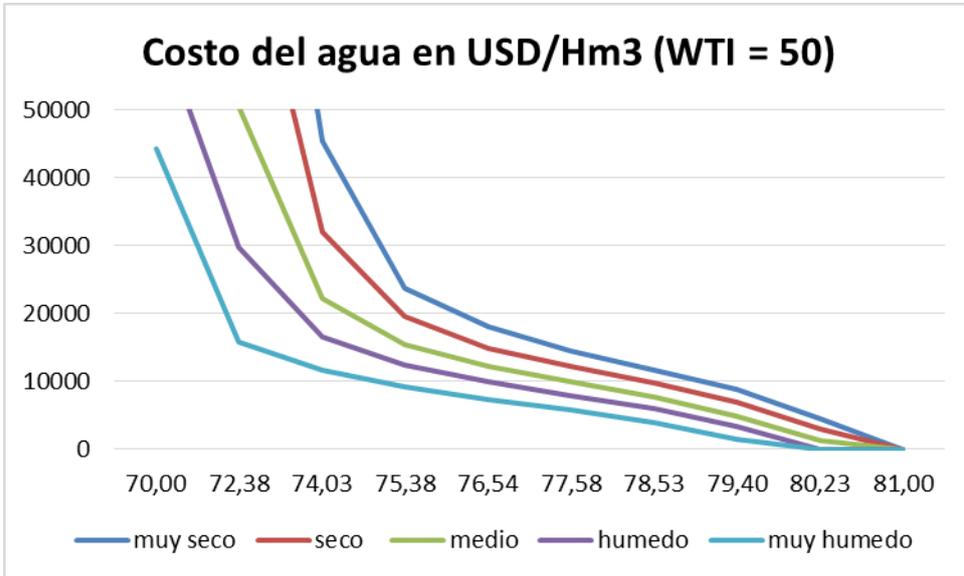
Se evaluaron los Costos del Agua en función de los tres precios del petróleo.

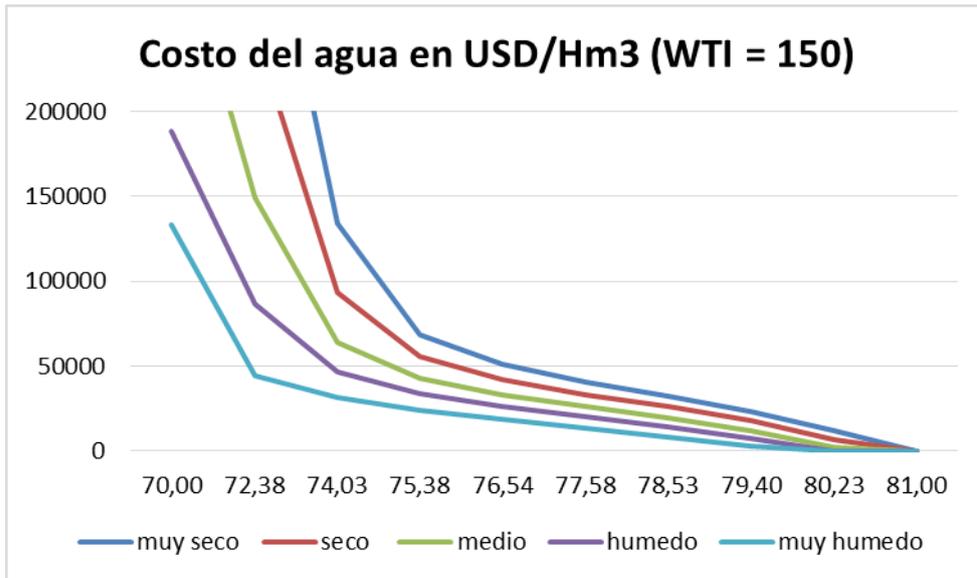




**Costo del agua en Bonete estudiado de la optimización de Bonete para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**

Se evaluó el valor del agua de Bonete a partir del archivo de optimización de Bonete para una semana del mes de Noviembre de 2016. En los siguientes gráficos se observa en las abscisas la costa del lago de Bonete y cada uno de los gráficos representa un estado hidrológico del embalse.

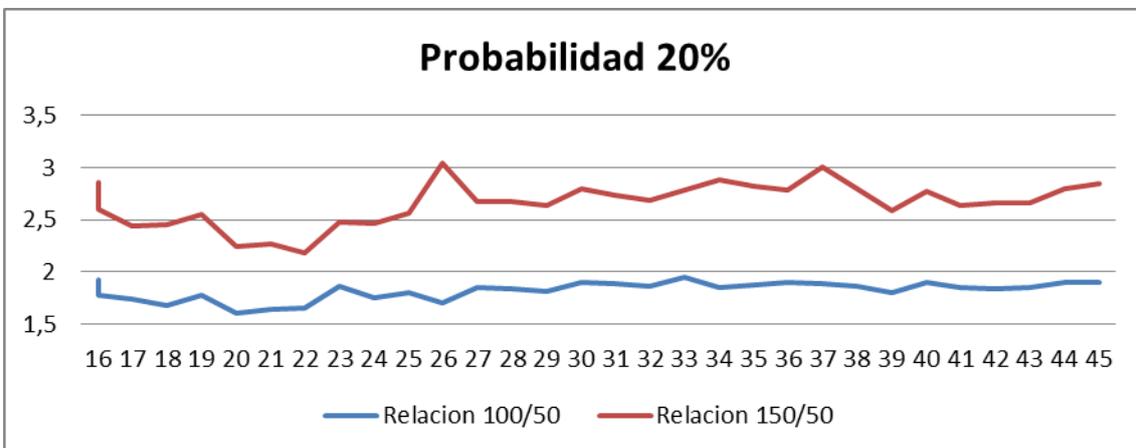
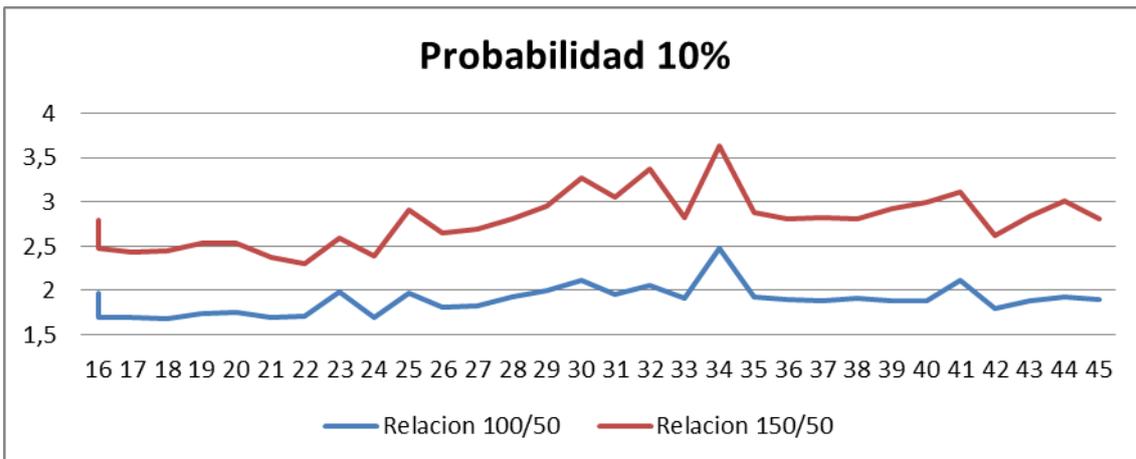
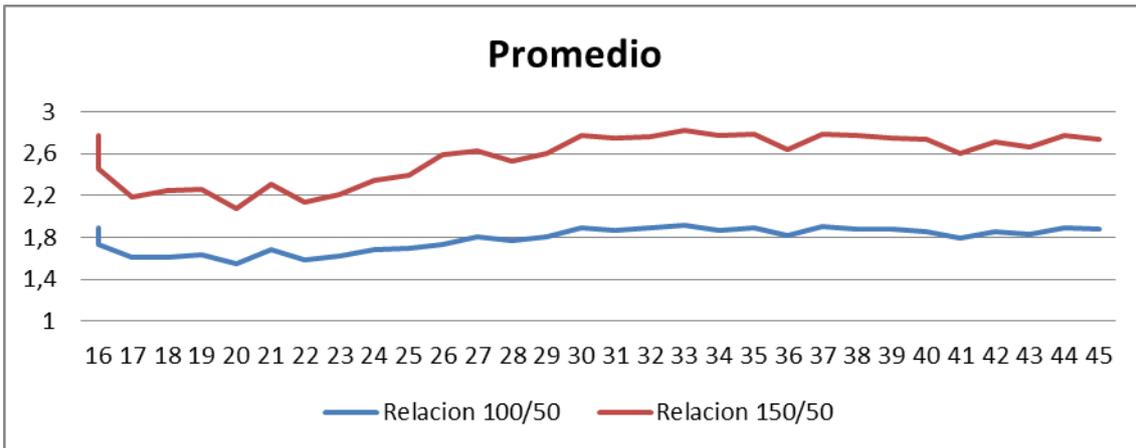


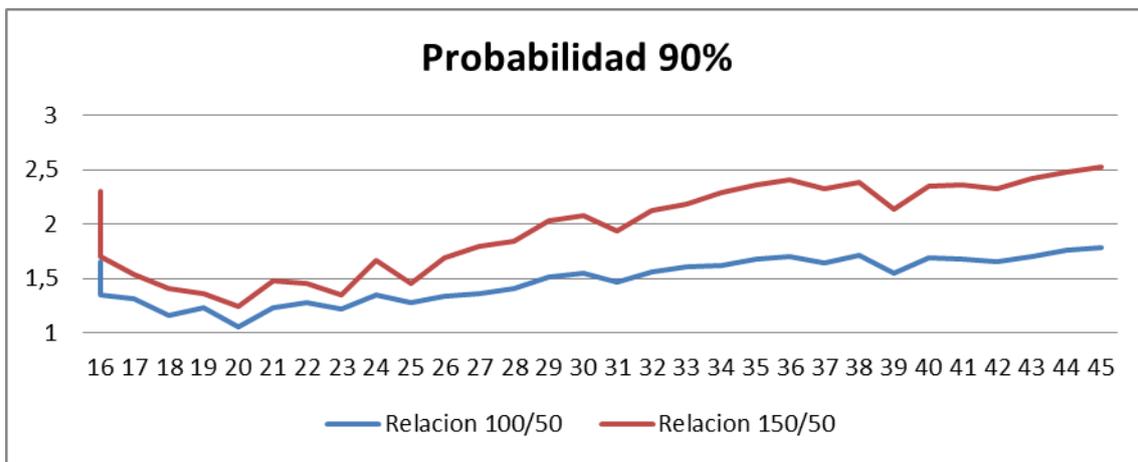
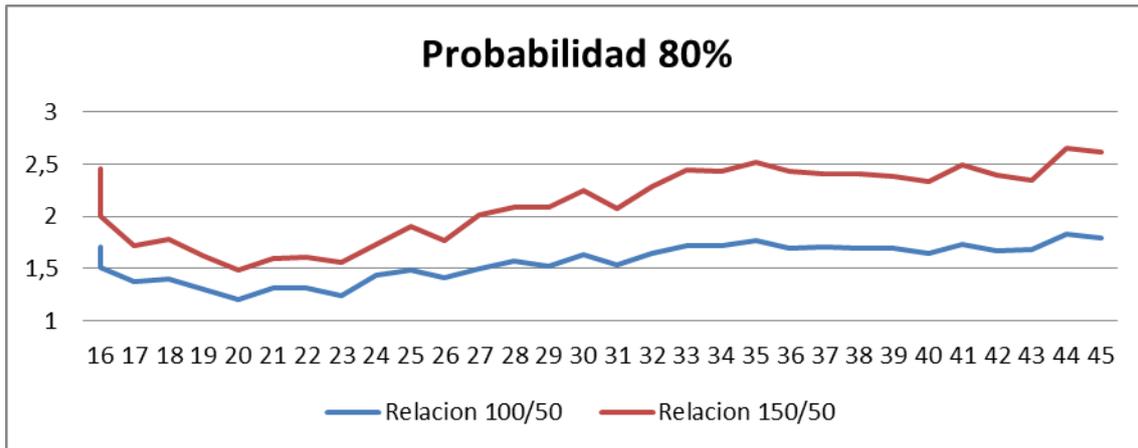


## 5) COMPARACION

### Simulación con expansión eólica y solar

Costo Marginal comparando la relación del precio petróleo: 100/50 y 150/50 USD/bbl.

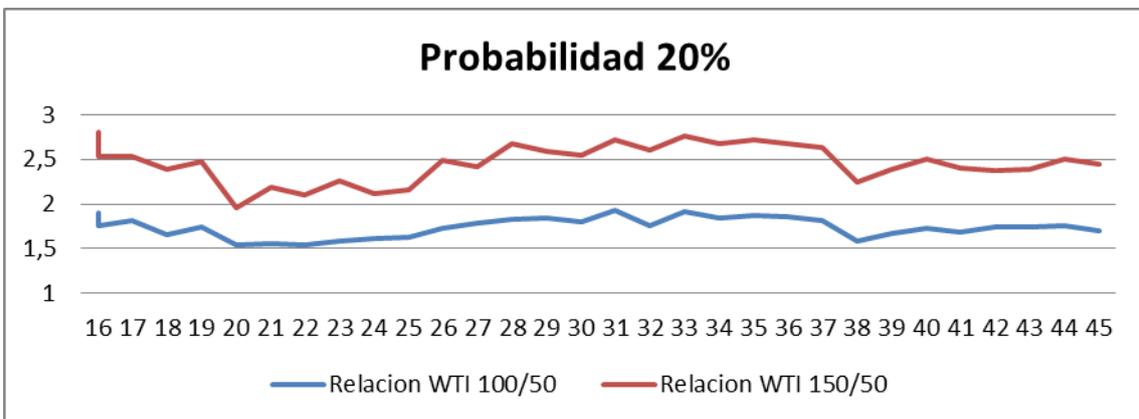
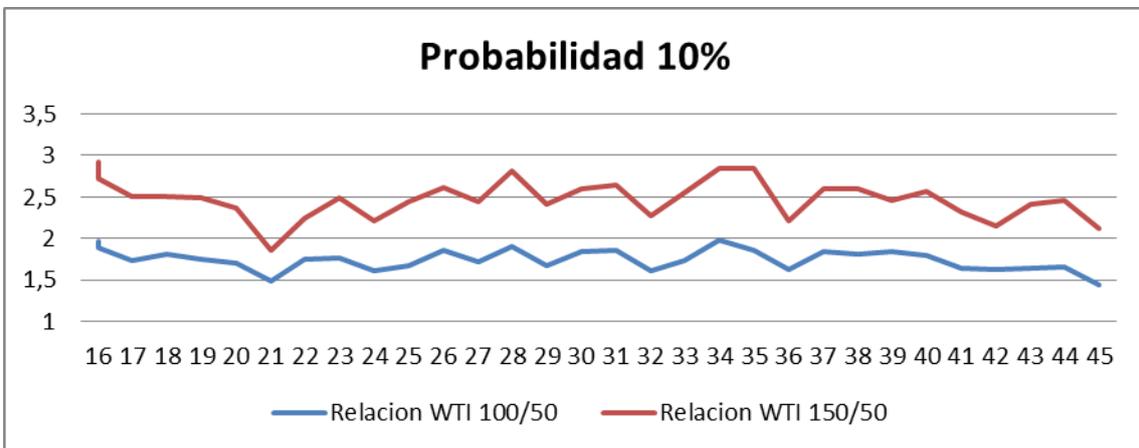
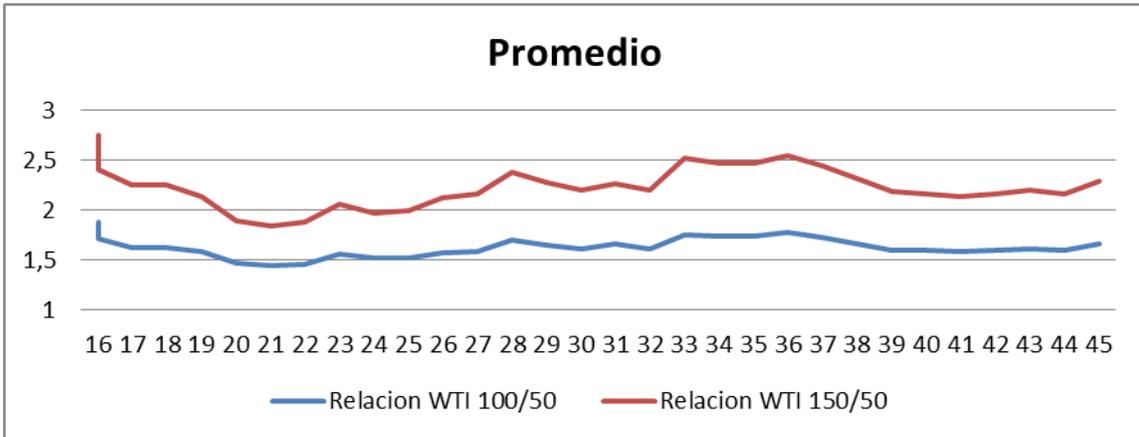


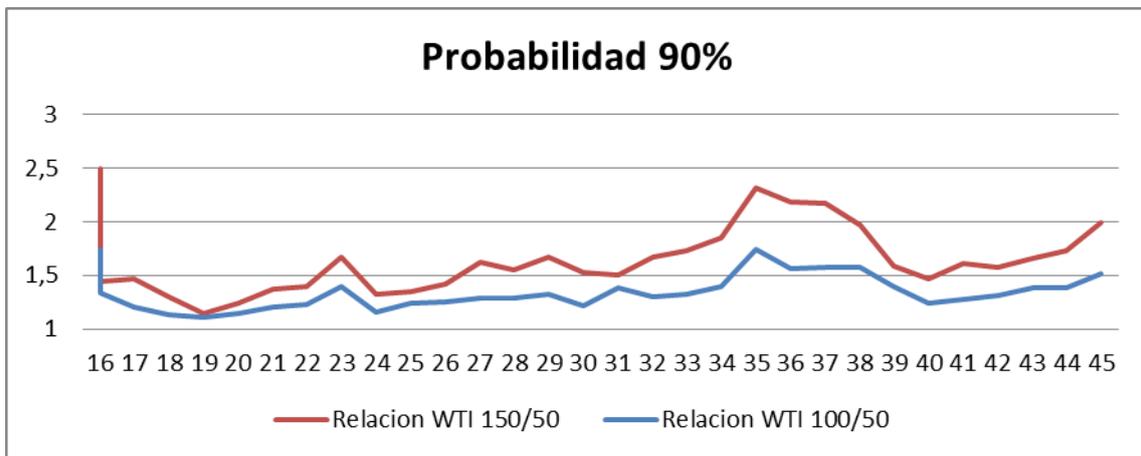
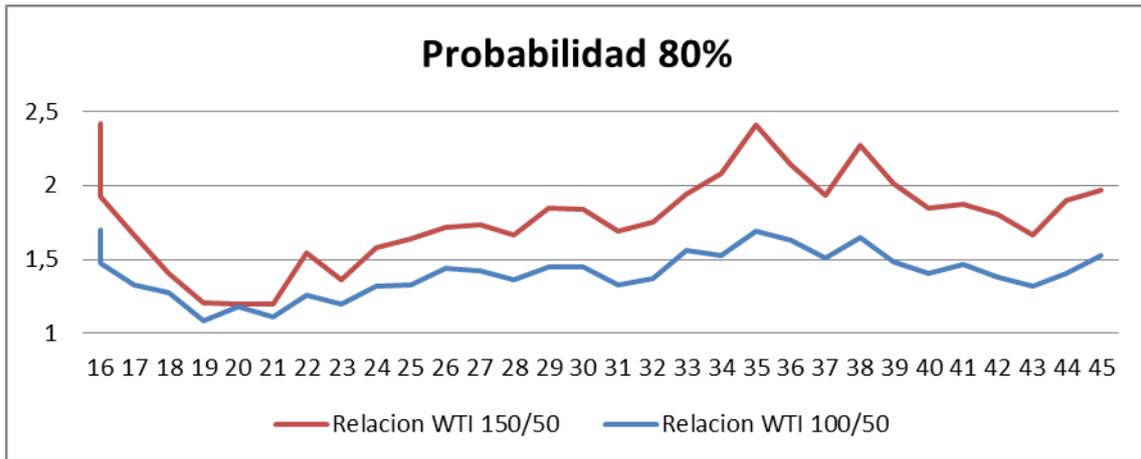


De las 5 graficas anteriores se desprende que aunque el valor del petróleo se multiplica por 2 y por 3, no sucede lo mismo con el costo marginal, siendo en la mayoría de los casos inferior a estas relaciones. Esto lo atribuimos a que en esta simulación la expansión es con energías renovables.

Por otro lado, se observan en las gráficas de probabilidad de 10% y 20% que en algunos momentos se superan las relaciones, esto lo atribuimos a que en estos momentos la tasa de falla es alta.

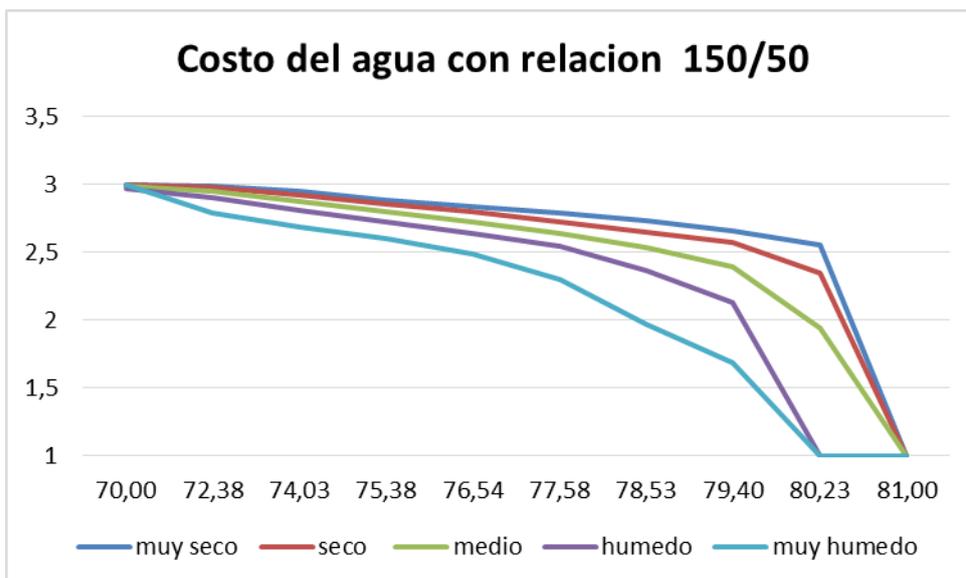
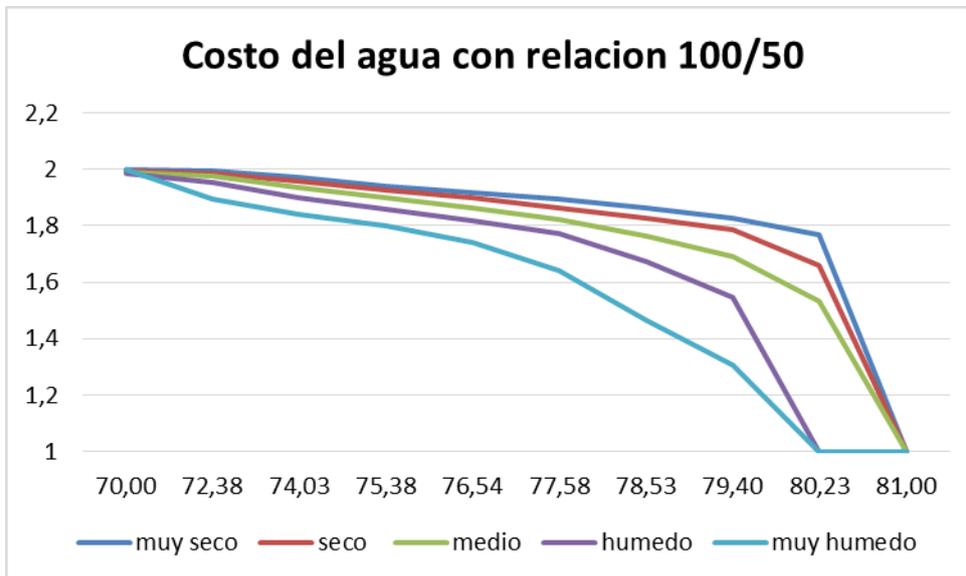
**Valor del Agua comparando la relación del precio petróleo: 100/50 y 150/50 USD/bbl.**





De las 5 graficas anteriores se desprende que aunque el valor del petróleo se multiplica por 2 y por 3, no sucede lo mismo con el valor del agua de Bonete, para estos escenarios todos los valores quedaron por debajo de las relaciones. Esto lo atribuimos a que en esta simulación la expansión es con energías renovables.

**Costo del agua en Bonete estudiado de la optimización de Bonete para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**



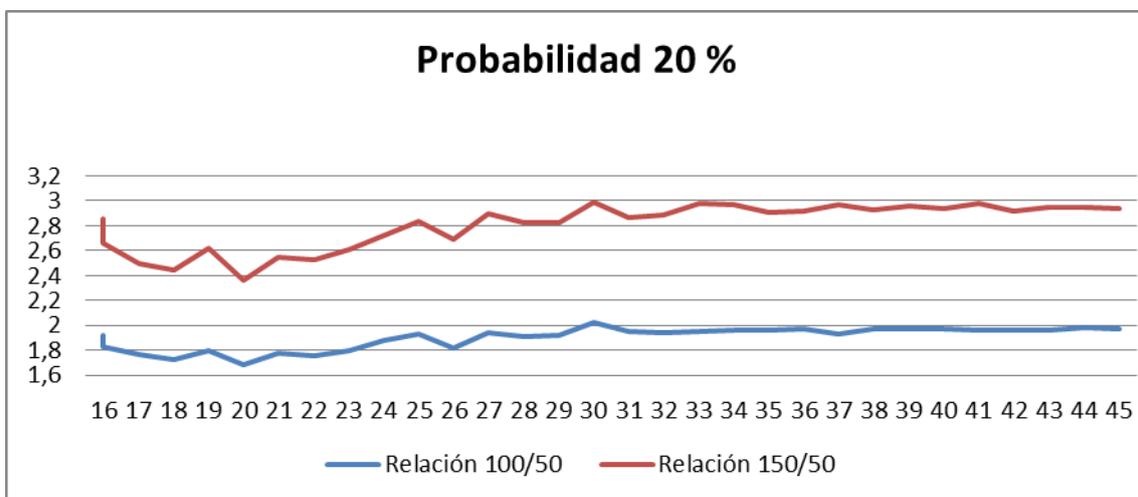
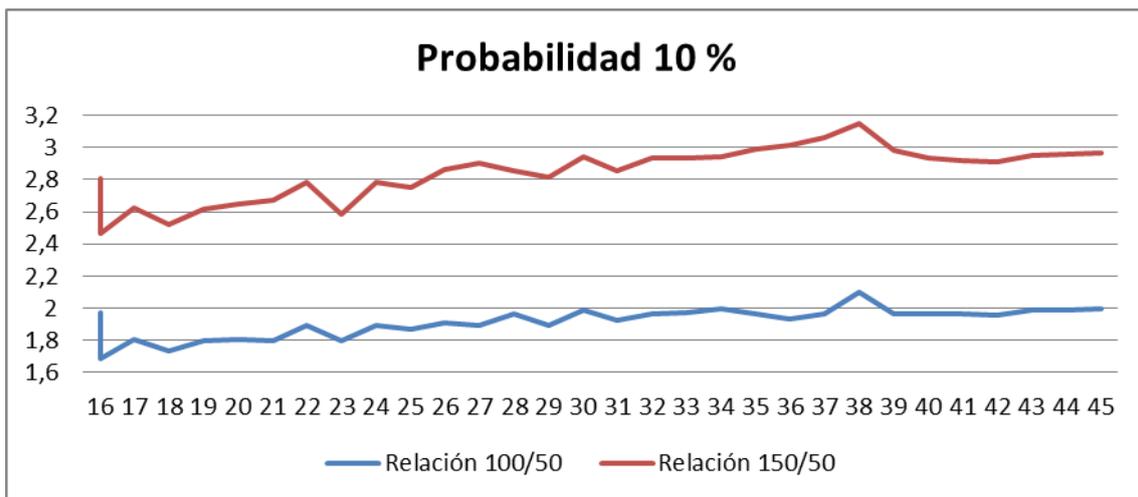
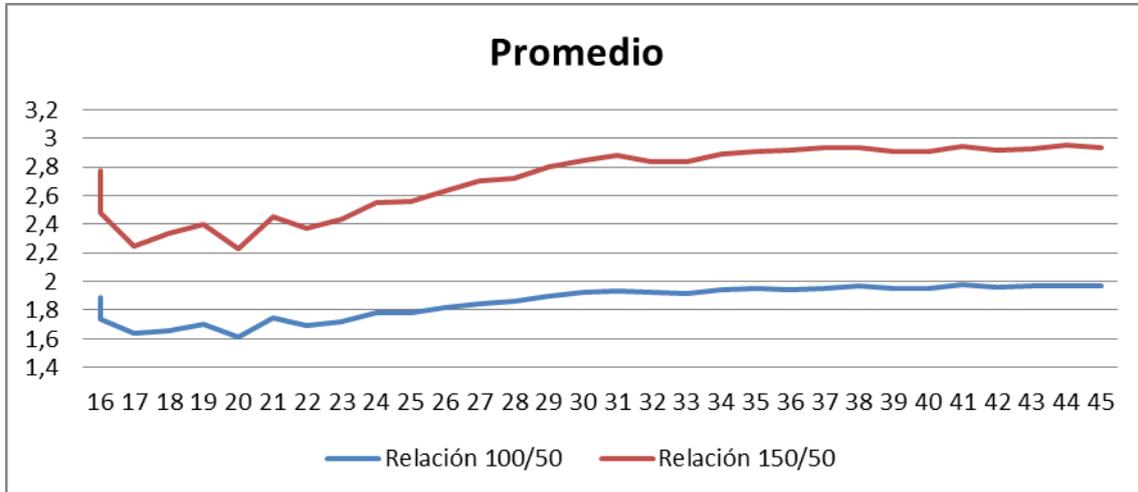
De las 2 graficas anteriores se desprende que aunque el valor del petróleo se multiplica por 2 y por 3, no se observa lo mismo en la optimización de Bonete.

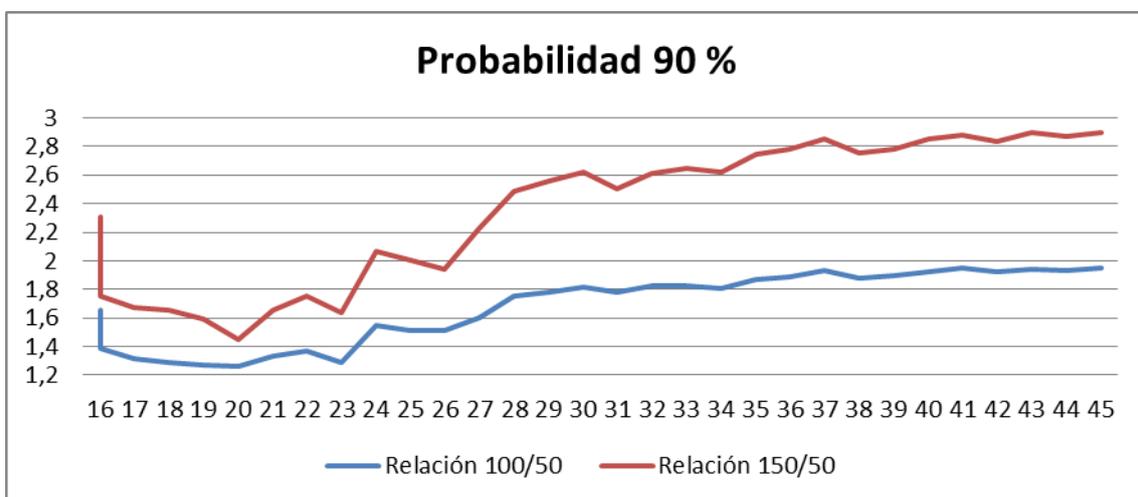
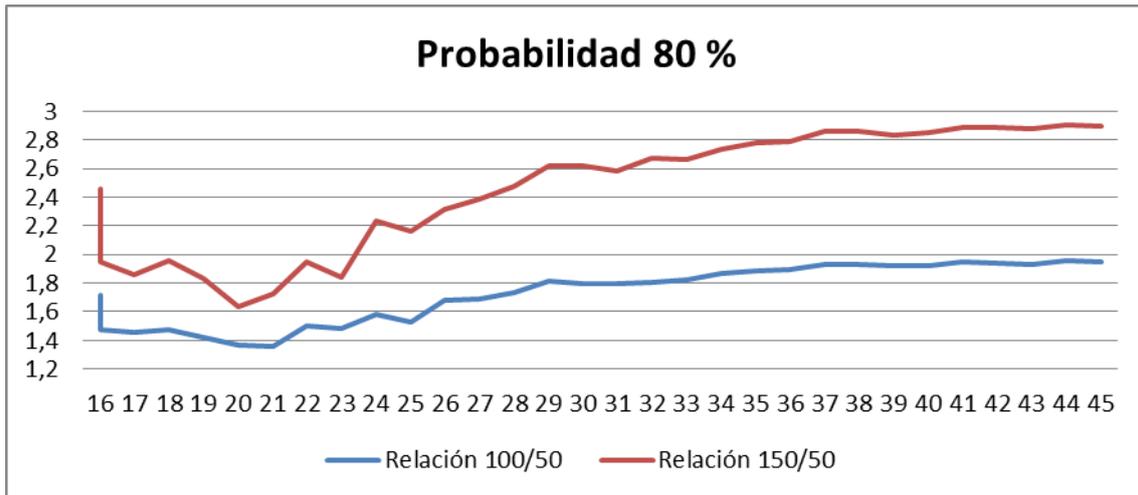
Cuando la cota del lago tiende a su mínimo, las relaciones tienden a 2 y 3 respectivamente, y por lo contrario, si llega a su cota máxima, el valor del agua tiende a ser cero y el valor del petróleo no influye.

En las alturas intermedias del lago, la relación va disminuyendo a medida que aumenta la cota.

## Simulación con expansión térmica

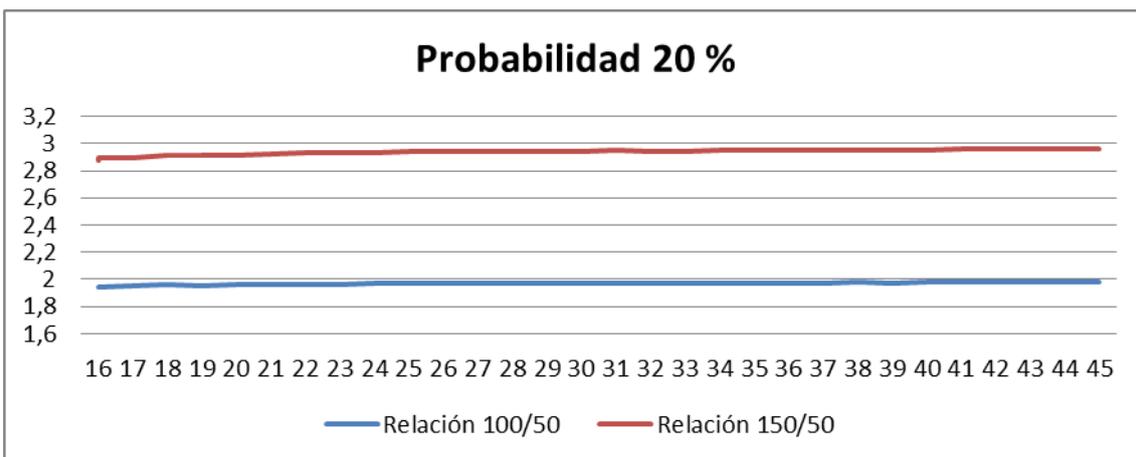
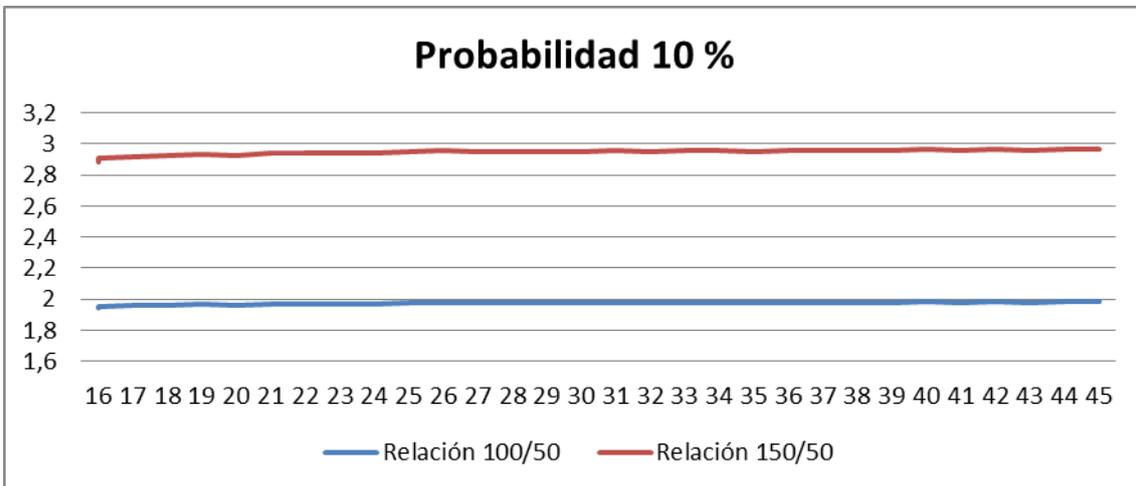
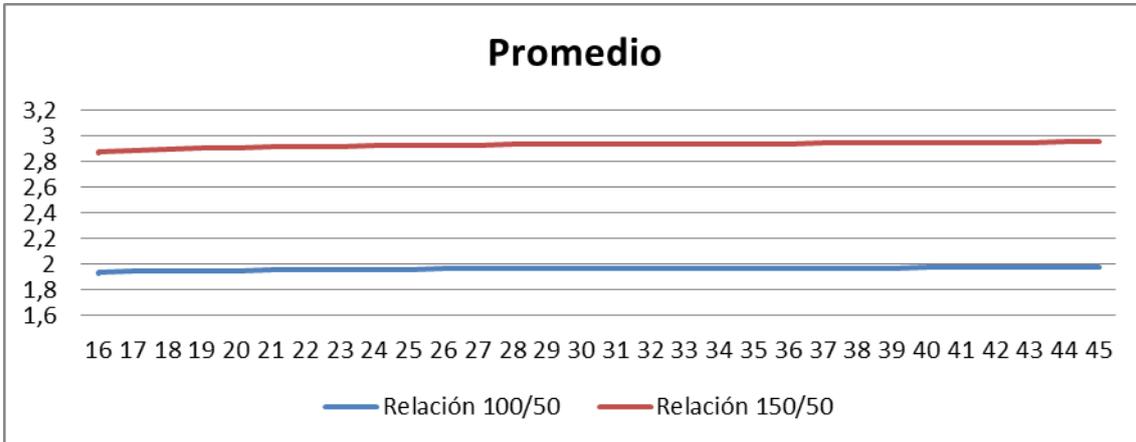
Costo Marginal comparando la relación del precio petróleo: 100/50 y 150/50 USD/bbl.

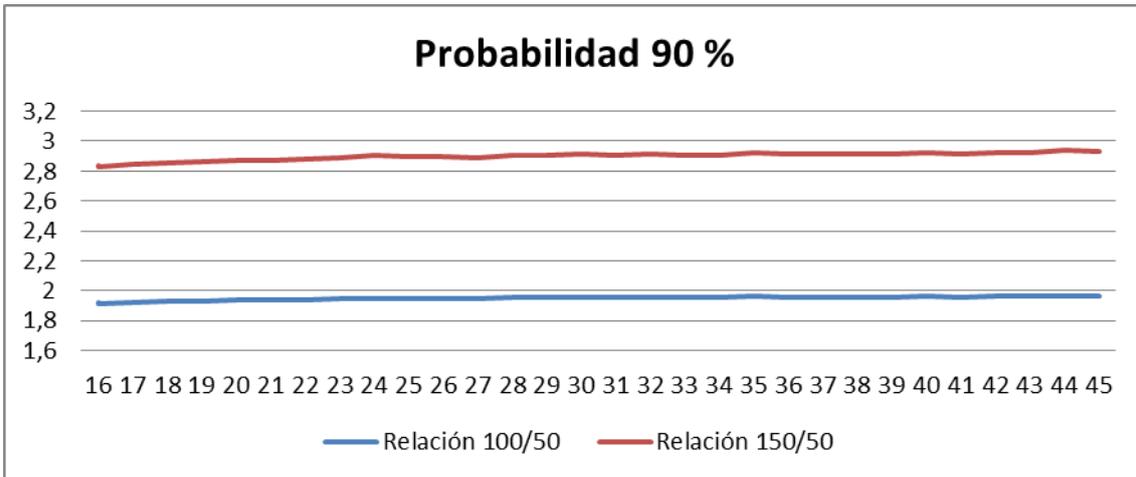
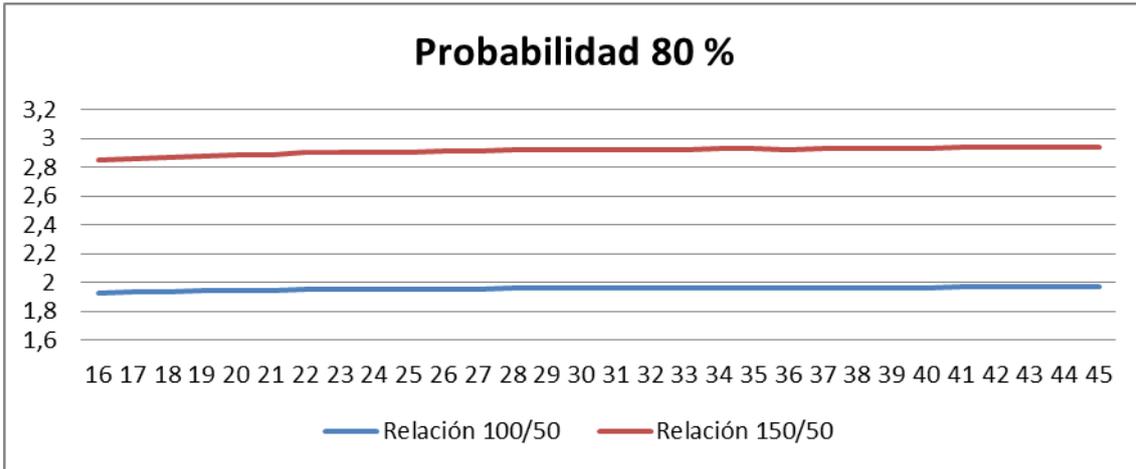




En las 5 graficas anteriores se observa que ante variación de 2 y 3 veces en el valor del petróleo, la relación de los costos marginales tiende a estos valores. Esto lo atribuimos a que en este escenario la expansión fue térmica y a medida que pasan los años, la energía térmica generada va incrementándose en la matriz. Por lo tanto los costos marginales van aumentando proporcionalmente al valor del petróleo.

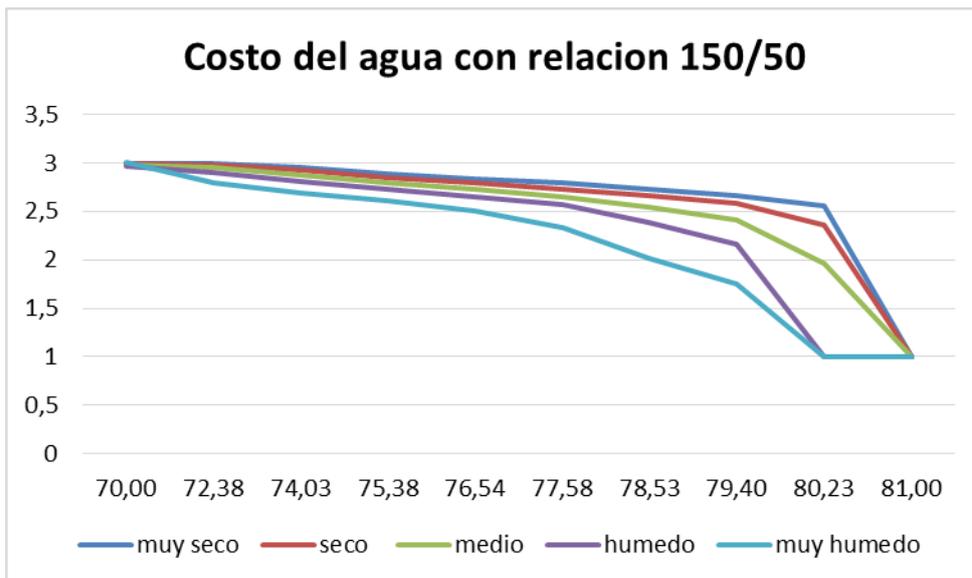
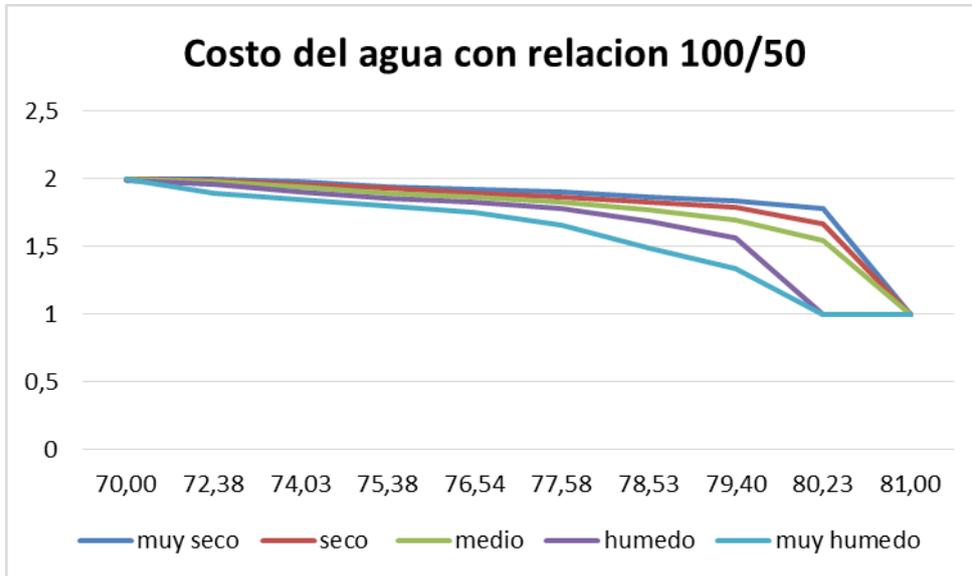
**Valor del Agua comparando la relación del precio petróleo: 100/50 y 150/50 USD/bbl.**





En las 5 graficas anteriores se observa que ante variación de 2 y 3 veces en el valor del petróleo, la relación de los costos del agua tiende a estos valores con poca variabilidad. Lo atribuimos a que en este escenario la expansión fue térmica y a medida que pasan los años, la energía térmica generada va incrementándose en la matriz. Por lo que los costos del agua van aumentando proporcionalmente al valor del petróleo.

**Costo del agua en Bonete estudiado de la optimización de Bonete para tres precios de petróleo: 50, 100 y 150 USD/bbl.**



De las 2 graficas anteriores se puede observar que ante variación de 2 y 3 veces en el valor del petróleo, no se observa lo mismo en la relación del costo del agua. Se observa un comportamiento similar al escenario de expansión renovable, donde, en el caso donde la cota del lago llega a su mínimo, las relaciones tienden a 2 y 3 respectivamente, y por lo contrario, si llega a su cota máxima, el valor del agua tiende a ser cero y el valor del petróleo no influye. En las alturas intermedias del lago, la relación va disminuyendo a medida que aumenta la cota.

Se realizó un estudio del costo del agua de Bonete para una semana de Diciembre del 2037, obteniéndose similares resultados que para la semana mostrada.

## **6) Posibles futuros trabajos.**

De acuerdo a las hipótesis de trabajo tomadas (en las que no se consideran ni los tiempos ni los costos), pensamos que sería interesante estudiar el costo de los dos sistemas eléctricos con expansión renovable y con expansión térmica.

Otro de los trabajos futuros, puede ser un estudio con mayor profundidad en los años donde en el escenario con una expansión renovable, la relación de los costos marginales estuvieron por encima de la relación del petróleo. En estos periodos observamos una incidencia mayor de las fallas. Pensamos que estudiando esos periodos en salas de mediano plazo podríamos estudiar si es necesario un incremento en la generación.