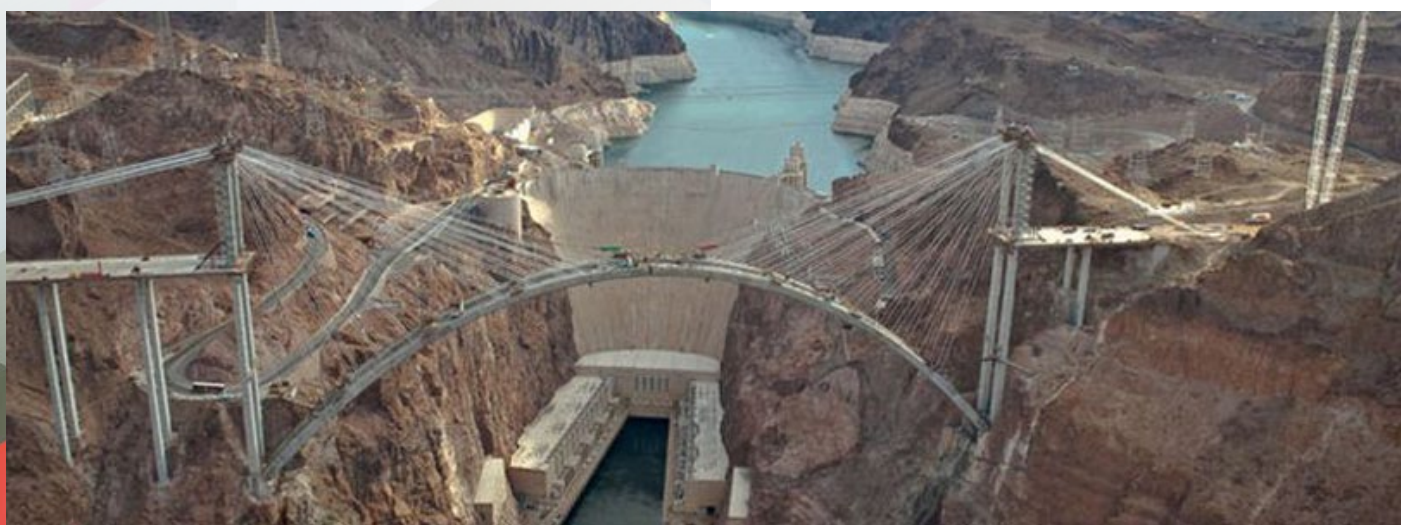


Siniestralidad durante la construcción y montaje de centrales hidroeléctricas

ITSEMAP



INTRODUCCIÓN

La relevancia de la siniestralidad durante la construcción y montaje de centrales hidroeléctricas, subyace no sólo por elevado coste de reconstrucción o reposición de equipos en caso de siniestro, sino también, por el efecto en los plazos de ejecución de la obra y retrasos en la puesta en marcha de la instalación, con el consiguiente lucro cesante.

Los sistemas de producción hidroeléctrica son una alternativa viable y de bajo coste para la producción de electricidad, a la vez que contribuyen a reducir el impacto sobre las emisiones de Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera en el ámbito de la producción eléctrica. Actualmente este tipo de sistemas, cuenta con técnicas absolutamente maduras y probadas.

Si bien la construcción de centrales hidráulicas en el entorno europeo se limita a ampliar o modernizar el parque de centrales existentes; un mayor aprovechamiento de recursos hídricos con la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas, es uno de los focos en el que los países Latinoamericanos están orientando su capacidad de producción energética para los próximos años. De acuerdo a OLADE (Organización Latinoamericana de la Energía), el grado de aprovechamiento del potencial hidroeléctrico de la región es de solamente un 22% (fuente, Junio 2013). A nivel mundial, aproximadamente el 16% de la generación eléctrica se realiza mediante el empleo de dicha tecnología, previéndose un incremento de potencia instalada principalmente en países de Asia, África y Latinoamérica.

¿QUÉ ES UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA?



Una central hidroeléctrica es una central eléctrica que permite el aprovechamiento eléctrico de la fuerza hidráulica con el empleo de una turbina hidráulica. La turbina hidráulica transforma la energía potencial y cinética del agua en movimientos mecánicos. Al instalar un generador solidario con el eje de la turbina, los movimientos mecánicos se convierten directamente en corriente eléctrica.

La potencia de una turbina hidráulica (P) se determina a partir del producto de la aceleración gravitacional (g), la densidad del agua, la altura o caída de agua (h), el caudal de la turbina (Q) y el rendimiento (η), típicamente con valores de 85-95 %.

$$P = \eta * \rho * g * h * Q$$

Las turbinas hidráulicas operan de acuerdo a unas curvas características que relacionan los parámetros anteriormente presentados.

TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Partiendo del concepto de aprovechamiento eléctrico anteriormente descrito, se pueden definir diferentes tipos de centrales hidráulicas en función de las construcciones civiles requeridas por las condiciones orográficas, hidrológicas o geotécnicas.

- **Central de presa**, es aquella central que implica la construcción de un muro grueso de diversos materiales con objeto de almacenar agua a fin de derivarla o regular su curso fuera del cauce.

- **Centrales de agua fluyente**, es aquella central que utiliza la fuerza del caudal del río y su fuerza de caída para generar electricidad sin la necesidad de inundar su parte alta con la creación de un embalse o de desviar el río de su lecho natural, aprovechando estrechamientos del cauce para conseguir mayor velocidad del agua.

- **Centrales de bombeo**, es aquella central de acumulación o reversible en la que el agua almacenada en un embalse inferior o proveniente de un río es bombeada a un embalse superior para su acumulación y posterior turbinado.

TIPOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS

Turbina Francis, es aquella turbina de paso radial que dispone de un amplio espectro de aprovechamiento, generalmente con alturas de agua y caudal elevados dando lugar a unidades de generación de gran potencia.



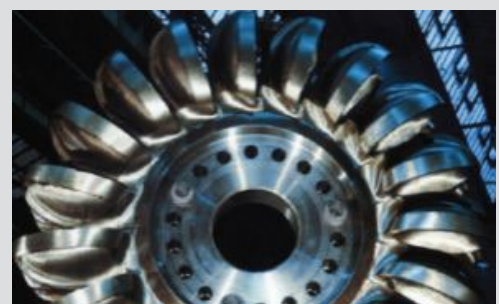
Turbina Kaplan, es aquella turbina con un rodete tipo hélice y un paso de flujo totalmente axial. Su aprovechamiento suele ser en caídas de agua inferiores a las turbinas Francis.



Turbina de Bulbo, se trata de modelo especial de turbina Kaplan. Estas turbinas son aptas para aprovechar saltos de muy poca altura y gran caudal, y cuenta con la peculiaridad de que el generador eléctrico queda dentro de un cubierta envolvente o bulbo.

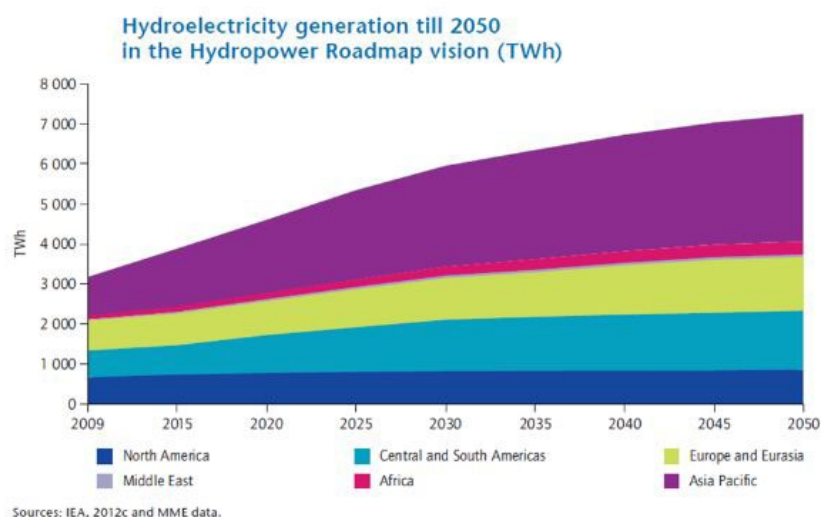


Turbina Pelton, es aquella turbina de acción en la que la energía potencial de la altura del agua, se transforma en cinética por medio de unos inyectores que proyectan el agua al rodete, dispuesto con cucharas que transforman dicha energía cinética en giro de la turbina. Su aplicación se limita a muy grandes saltos de altura y bajo caudal.



EVOLUCIÓN MUNDIAL DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

De acuerdo a las conclusiones del informe de la IEA “Technology Roadmap: Hydropower, 2012”, hay una previsión de que la generación hidroeléctrica pueda doblar su contribución en el año 2050, alcanzando 2000 GW de potencia instalada global y una producción eléctrica de alrededor de 7000 TWh. Este logro, motivado principalmente por la búsqueda de energía limpia, podría prevenir emisiones anuales de hasta 3.000 millones de CO2 proveniente de plantas de combustible fósil. El grueso de este crecimiento provendría de instalaciones en economías emergentes y países en desarrollo.



Gráfica 1. Proyección de generación hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica es la tecnología con mayor peso en la generación eléctrica renovable a nivel mundial, y de acuerdo a la previsión se mantendrá en esa posición. Desde 2005, las nuevas instalaciones hidroeléctricas han generado más electricidad que todas las energías renovables combinadas.

El potencial para nuevas plantas hidroeléctricas es considerable, especialmente en África, Asia y Latinoamérica. En países de este entorno, proyectos de grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas pueden ayudar al acceso a sistemas eléctricos modernos, aliviar la pobreza e impulsar el desarrollo social y económico, especialmente en comunidades locales. En los países industrializados, beneficios adicionales pueden derivarse de la modernización o mejora de las centrales existentes.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La investigación se realiza a partir del análisis de siniestros en construcción y montaje de centrales hidroeléctricas en la cartera de MAPFRE.

La fuente de información principal para el análisis de las muestras es la herramienta Century. A partir del dato de número de póliza ha sido posible examinar los distintos expedientes de siniestro en las obras correspondientes. De un análisis riguroso de los informes periciales disponibles y comunicaciones registradas, se ha podido determinar en la mayoría de los siniestros una serie de campos definidos y que permiten extraer conclusiones en la siniestralidad de obras hidroeléctricas.

El análisis de las características de las obras y centrales hidroeléctricas se ha realizado en base a la información suministrada por los asegurados para la suscripción o renovación de las pólizas, si bien no es frecuente la disponibilidad de documentación técnica detallada.

La información relativa a las pólizas de las obras suscritas se ha podido extraer de la herramienta Siglo o bien a través del contenido de los informes periciales.

MUESTRAS DE OBRAS HIDROELÉCTRICAS

Como se ha citado en el punto anterior, la muestra de obras hidráulicas se ha extraído de la identificación de una serie de obras dentro de la cartera de MAPFRE. Cabe destacar el intento de incrementar la muestra a partir de información que pudiera extraerse del sector (p. ej. reaseguro, IMIA), si bien no ha sido posible finalmente recopilar suficiente detalle técnico/económico en los siniestros hallados como para poder incorporarse al presente estudio.

La muestra comprende 9 obras hidroeléctricas ubicadas principalmente en la región Latinoamericana con excepción de la obra en La Muela II localizada en España (ver Tabla 1).

Tabla 1: Características principales de las obras analizadas

Obra	País	Cliente/Tomador	Breve descripción de Obra y alcance Civil	Fecha Inicio	Fecha Fin*
LAJA	Chile	EÓLICA MONTE REDONDO	Central Nueva. Construcción de una represa	sep-09	dic-14
LA MUELA II	España	IBERDROLA Generación	Aumento de capacidad de central existente. Construcción subterránea de la caverna y excavación de tubería forzada a un embalse superior ya existente	ago-05	sep-15
SAN PEDRO	Chile	COLBUN	Central nueva. Construcción de presa y túnel aducción	jul-10	obra parada
ANGOSTURA	Chile	COLBUN	Central nueva. Construcción de presa y túnel aducción	ene-10	abr-14
EL QUIMBO	Colombia	EMGESA	Central nueva. Construcción de presa, dique auxiliar y túneles de aducción	dic-10	may-15
CERRO DEL AGUILA	Perú	CERRO DEL ÁGUILA	Central nueva. Construcción de presa con túneles de conducción y caverna de sala de máquinas	may-11	oct-15
LA CONFLUENCIA	Chile	HOCHTIEF CONSTRUCTORA CHILENA	Central nueva. Construcción de 2 túneles subterráneos extensos (7-10 km) en forma y sin construcción de presa	feb-08	feb-13
PANDO Y MONTE LIRIO	Panamá	COBRA	Centrales nuevas. Dos centrales en cascada (Pando - Montelirio) con construcción de presas y túneles	sep-09	dic-14
PEDREGALITO I y II	Panamá	COBRA	Centrales nuevas. Dos centrales en cascada con construcción de presa en Pedregalito I	dic-09	nov-11

(*) Fecha de finalización o última estimación con la información disponible.

En base al análisis de la documentación de suscripción y de las pólizas, se tienen los siguientes datos:

Obra	Suma Asegurada €	SA Daños Materiales €	Presupuesto relativo a Obra Civil €	SA ALOP €	Otras coberturas
LAJA	114.760.000	93.480.000	44.589.846	21.280.000	LEG 2
LA MUELA II	230.498.584	230.498.584	80.713.970	Sin cobertura	LEG 2, LEG 3 (Lím. 5 MME)
SAN PEDRO	346.560.000	254.600.000	123.806.568	91.960.000	Sin información
ANGOSTURA	489.060.000	402.800.000	199.051.772	86.260.000	LEG 2, DE 3, DE 5 (Lím.10M€) Incluido Maquinaria de obra
EL QUIMBO	578.853.199	409.677.199	212.990.638	169.176.000	LEG 2, DE 3, DE 5 (Lím.10M€) Incluido Maquinaria de obra
CERRO DEL AGUILA	652.840.000	516.040.000	192.895.305	136.800.000	LEG 2
LA CONFLUENCIA	250.771.120	190.000.000	95.000.000	60.771.120	LEG2 Incluido Maquinaria de obra
PANDO Y MONTE LIRIO	209.146.680	177.528.400	113.035.655	31.618.280	Sin información
PEDREGALITO I y II	81.756.528	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información Incluido Maquinaria de obra
Total	2.954.246.111	2.274.624.183	1.062.083.753	597.865.400	

Cabe destacar que dentro de las muestras de obras analizadas existen diferencias en cuanto a la contratación de diferentes coberturas, a destacar la contratación o no de la garantía ALOP (Muela II), de distintas coberturas para errores de diseño, materiales o montaje (generalmente LEG 2), o cobertura/exclusión de la maquinaria de obra.

MUESTRA DE SINIESTROS

La elección de muestras corresponde a los siguientes criterios:

- Se identificaron un total de 59 siniestros relacionados con obras hidroeléctricas, basada en siniestros recogidos en Century.
- El estudio de los siniestros se ha limitado a aquellos con aplicación de garantías en Daños Materiales y ALOP, no siendo objeto de su análisis e incorporación a las estadísticas aquellos sujetos a garantías de Responsabilidad Civil.

En base al análisis individualizado de los siniestros, se han definido una serie de campos en una tabla Excel basados en unas listas predefinidas y que tras su cumplimentación ha permitido analizar los resultados estadísticos. Los conceptos analizados por siniestros se clasifican en tres de grupos de datos correspondientes que abarcan:

- **Análisis del siniestro:** causa origen, daños o consecuencias, escenario y período de ocurrencia.
- **Valoración/Tramitación del siniestro:** importe reclamado, tasación y deducibles aplicables.
- **Datos de obra o instalación.**

Con fin de obtener conclusiones relevantes, los importes considerados han sido siempre los importes totales 100% tanto en daños materiales como en lucro cesante, considerando en este caso tanto la pérdida económica como los días de parada.

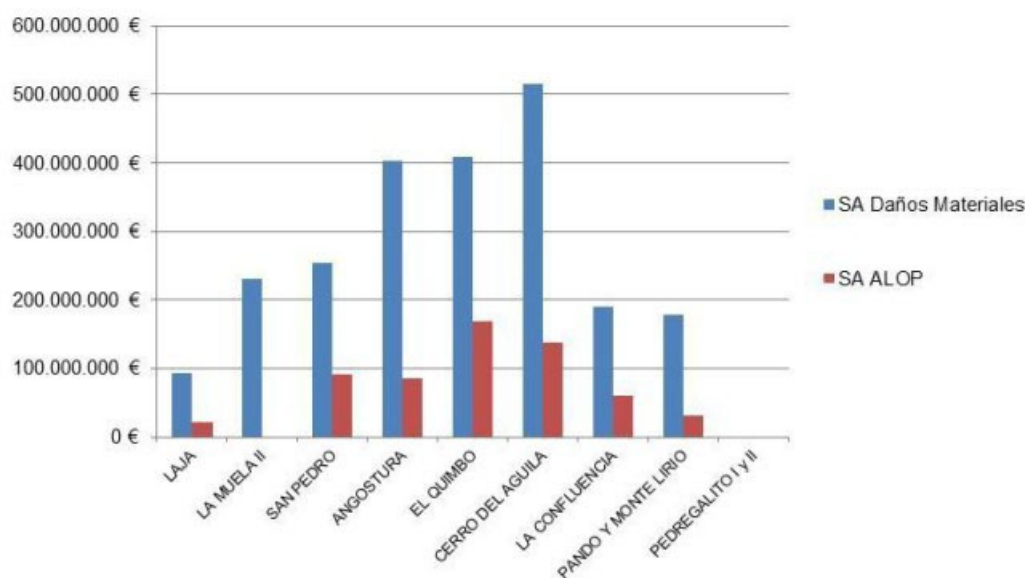
PRINCIPALES CONCLUSIONES

CENTRALES HIDRÁULICAS

- **Tipo de central.** Se diferencian tres tipos de centrales hidráulicas dentro de la muestra analizada: Agua fluyente (RoR), Bombeo y Presa; con una concentración significativa de la suma asegurada en éstas últimas, con cerca del 72%. Asimismo son las centrales tipo presa las que disponen de mayor potencia total instalada, si bien la instalación de La Muela es la que mayor potencia instalada tiene cerca de 850 MW.

Tipo de Construcción	Suma Asegurada €	% SA	Potencia [MW]	% Potencia
Run-of-the-River Agua fluyente	574.677.800	19,45%	273,4	10,72%
LA CONFLUENCIA	250.771.120	8,49%	156,0	6,11%
LAJA	114.760.000	3,88%	34,4	1,35%
PANDO Y MONTE LIRIO	209.146.680	7,08%	83,0	3,25%
Bombeo/Reversible	230.498.584	7,80%	848,0	33,24%
LA MUELA II	230.498.584	7,80%	848,0	33,24%
Presa	2.149.069.727	72,75%	1.430,0	56,05%
ANGOSTURA	489.060.000	16,55%	316,0	12,39%
CERRO DEL AGUILA	652.840.000	22,10%	525,0	20,58%
EL QUIMBO	578.853.199	19,59%	400,0	15,68%
SAN PEDRO	346.560.000	11,73%	144,0	5,64%
PEDREGALITO I y II	81.756.528	2,85%	45,0	1,76%
Total	2.954.246.111	100,00%	2.551,4	100,00%

- **Distribución por obra.** De acuerdo a los datos de suscripción y los presupuestos de las obras, se observan grandes diferencias en sus magnitudes como se presenta en la siguiente gráfica. En ella destacan tres obras con presupuestos superiores a 500 MM EUR en daños materiales, mientras que la central hidroeléctrica de Laja se ubica por debajo de los 100 MM EUR.



SINIESTROS

- **Distribución de siniestros por obra.** Se observa una elevada siniestralidad en la obra de Laja, concentrando casi el 32% de los daños de la muestra. Este hecho tiene mayor relevancia considerando su escaso peso en los datos de suma asegurada presentados en el punto anterior. Así mismo cabe destacar la elevada siniestralidad en La Muela como consecuencia de un siniestro de alrededor de 14 MM EUR.

Central Hidráulica	Nº de siniestros	Daños Materiales €	Daños PBE	Total Daños	% Total Daños
LAJA	6	11.293.000	9.109.724	20.402.724	31,88%
LA MUELA II	3	16.735.604	-	16.735.604	26,15%
LA CONFLUENCIA	33*	13.589.064	-	13.589.064	21,23%
EL QUIMBO	7	7.540.887	-	7.540.887	11,78%
PANDO Y MONTE LIRIO	3	532.000	2.736.000	3.268.000	5,11%
ANGOSTURA	3	1.486.099	-	1.486.099	2,32%
PEDREGALITO I y II	2	466.129	171.000	637.129	1,00%
CERRO DEL ÁGUILA	1	342.000	-	342.000	0,53%
SAN PEDRO	1	-	-	-	0,00%
Total	59	51.984.783	12.016.724	64.001.507	100%

(*) La Confluencia presenta 15 siniestros por impactos en la circulación de vehículos de obra y 8 siniestros por impactos en maquinaria de perforación durante trabajos en los túneles.

- **Distribución de siniestros por países.** En cuanto al comportamiento por análisis geográfico, si tenemos en cuenta la suma asegurada correspondiente, destaca negativamente España con el siniestro de La Muela y un porcentaje elevado de daños en Chile dado el mayor número de obras analizadas y la siniestralidad de Laja.

País	Nº de siniestros	Total Daños €	% Daños	Suma Asegurada €	% Suma Asegurada
CHILE	43*	35.477.887	55,43%	1.201.151.120	41,82%
PANAMÁ	5	3.905.129	6,10%	209.146.680	7,28%
PERÚ	1	342.000	0,53%	578.853.199	20,15%
COLOMBIA	7	7540.887	11,78%	652.840.000	22,73%
ESPAÑA	3	16.735.604	26,15%	230.498.584	8,02%
Total	59	64.001.507	100%	2.872.489.583	100%

(*) Elevada frecuencia de siniestros en Chile por el efecto, anteriormente citado, de La Confluencia.

- **Distribución por tipo de central.** Dentro de la muestra, se distinguen tres tipos de centrales, con una siniestralidad más notable en aquellas centrales de tipo agua fluyente, fundamentalmente debido a Laja y La Confluencia. Por el contrario y pese a concentrar un mayor valor de suma asegurada, las centrales tipo presa suponen tan solo un 15% de la suma de daños total.

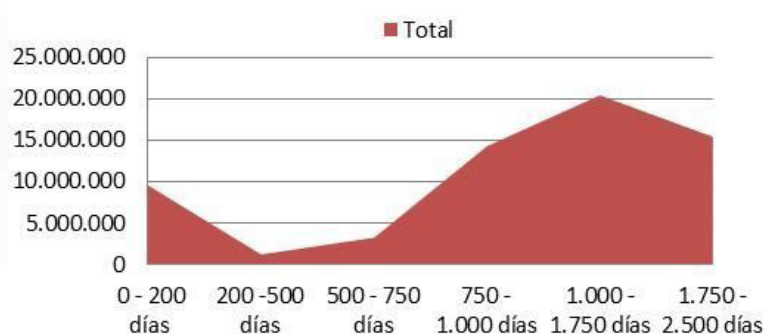
Tipo de Construcción	Suma de Daños	%
Run-of-the-River Agua fluyente	37.259.788	58,22%
LA CONFLUENCIA	13.589.064	21,23%
LAJA	20.402.724	31,88
PANDO Y MONTE LIRIO	3.268.000	5,11%
Bombeo/Reversible	14.434.000	22,55%
LA MUELA II	14.434.000	22,55%
Presa	10.006.115	15,63%
ANGOSTURA	1.486.099	2,32%
CERRO DEL AGUILA	342.000	0,53%
EL QUIMBO	7.540.887	11,78%
SAN PEDRO	-	0,00%
PEDREGALITO I y II	637.129	1,00%
Total	64.001.507	100%

- **Siniestros por etapa de proyecto.** Destacable el elevado daño medio provocado en las últimas etapas de la obra durante las pruebas y puesta en marcha de la central. En este punto se han producido dos siniestros de elevada cuantía en la central de Laja y de La Muela.

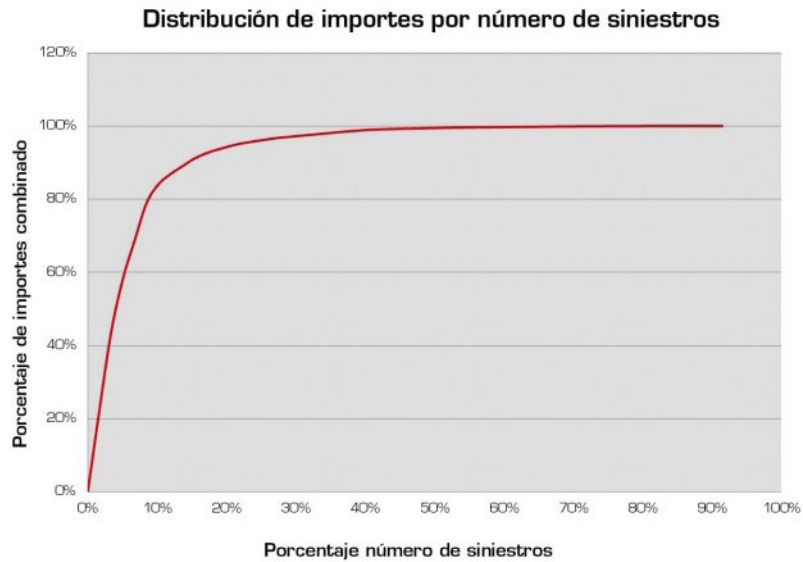
Fase de Obra	Nº de siniestros	Suma de Daños €	Daño Medio €
Construcción	54	42.267.385	782.729
Pruebas y puesta en marcha	5	21.734.122	4.346.824
Total	59	64.001.507	1.084.771

Analizando en mayor detalle el período de la obra en el cual se producen los siniestros, se observan los siguientes valores.

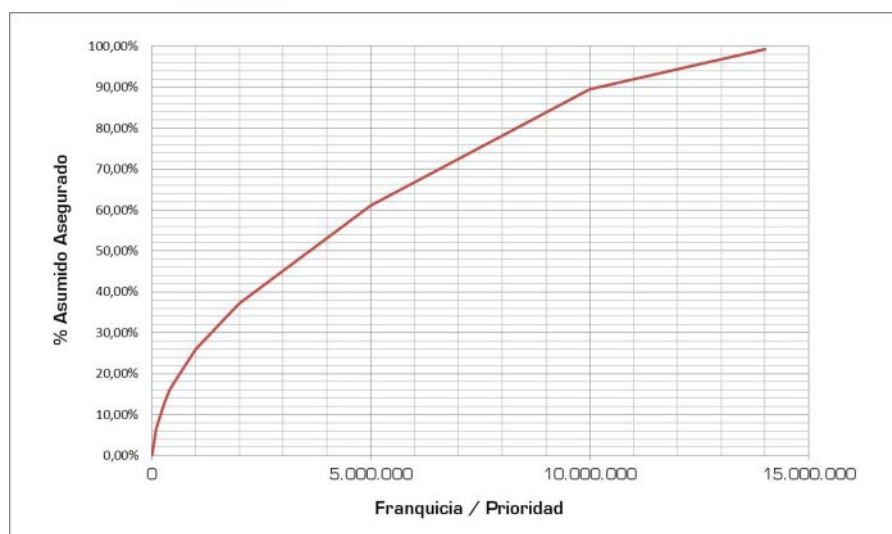
Intervalo	Suma de Daños €
0-200 días	9.519.507,68
200-500 días	1.203.933,59
500-750 días	3.222.063,44
750 – 1.000 días	14.266.166,46
1.000 – 1.750 días	20.405.835,78
1.750 – 2.500 días	15.384.000,00
Total	64.001.506,96



- Distribución de siniestros por importe.** Se observa que un porcentaje relativamente pequeño de los siniestros, i.e. 5 (8%), afecta aproximadamente al 80% de los totales de daños. Asimismo señalar que los dos siniestros más importantes de la muestra (en Laja & La Muela), suponen cerca del 44% de la pérdida combinada (DM+PB).



- **Retención del asegurado en función de deducibles.** Sobre la base de siniestros analizados se tendría la siguiente distribución de reparto de la carga de siniestros (daños materiales) dependiendo de la franquicia.



Fase de Obra	Nº de siniestros	Suma de Daños €	Daño Medio €
Construcción	54	42.267.385	782.729
Pruebas y puesta en marcha	5	21.734.122	4.346.824
Total	59	64.001.507	1.084.771

- **Escenario de daños.** En relación con las circunstancias en que tiene lugar el siniestro se han encontrado los siguientes datos relevantes. En primer lugar destacar la elevada frecuencia del escenario Circulación de Vehículos por la elevada cantidad de siniestros reclamados por daños en maquinaria en la obra de La Confluencia (15 siniestros). Como escenario más probable y de mayor afección, se observa la pérdida de control o falta de seguridad, en gran parte motivado por el impacto de los dos siniestros más importantes de la muestra y acontecidos en La Muela y en Laja.

Escenario Daños	Afección %	Frecuencia %
Pérdida control / seguridad	58,10%	32,69%
Inundación / Avenida	18,32%	19,23%
Desprendimientos	15,20%	3,85%
Incendio	3,69%	7,69%
Terremoto	2,81%	3,85%
Voladuras	0,99%	5,77%
Circulación Vehículos	0,88%	26,92%
Total	100%	100%

- **Elemento origen del fallo.** Destaca la relevancia de siniestros originados en túneles con un mayor valor promedio de daños, cercano a 4 MME€, seguido de los siniestros originados por equipos electromecánicos. Salvando la elevada frecuencia de siniestros motivada por maquinaria móvil, destaca una mayor frecuencia en equipos electromecánicos, avenidas y originados en construcción (excavaciones, talud, túneles).

Elemento origen del fallo	Frecuencia	% Frecuencia	Suma Total Daños €	% Total Daños	Daño Promedio €
Equipos electromecánicos	8	13,56%	20.947.565	32,73%	2.618.446
Túneles	5	8,47%	19.383.454	30,29%	3.876.691
Avenidas	8	13,56%	10.472.476	16,36%	1.309.060
Talud	7	11,86%	8.969.954	14,02%	1.281.422
Edificio/Estructura	1	1,69%	1.332.546	2,08%	1.332.546
Accesos	1	1,69%	950.000	1,48%	950.000
Excavaciones/movimientos tierra	7	11,86%	787.946	1,23%	112.564
Edificio/Estructura/Ataguías	1	1,69%	576.262	0,90%	576.262
Maquinaria móvil	18	30,51%	550.818	0,86%	30.601
Desconocido	3	5,08%	30.486	0,05%	10.162
Total	59	100%	64.001.507	100%	1.084.771

- **Consecuencias o Elementos dañados.** Las consecuencias con mayor importe medio y peores consecuencias en términos de pérdida de beneficio asociado se concentran en las averías de equipos electromecánicos. No obstante, gran porcentaje de la suma de daños materiales se concentra principalmente en daños a la construcción. ■

Consecuencias Siniestros	Frecuencia	Suma Daños DM €	Suma Daños PB €	Importe Medio
Avería equipos electromecánicos	8	11.828.625	9.109.724	2.617.294
Daños a otras infraestructuras	10	12.131.131	0	1.213.113
Daños a la construcción	17	27.381.630	2.907.000	1.781.684
Rotura de máquinas / vehículos	24	643.398	0	26.808
Total	59	51.984.783	12.016.724	1.084.771

CONCLUSIONES FINALES

Del análisis de la siniestralidad se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La muestra analizada comprende un número reducido de obras (9) y siniestros (59), de diferente tipo y magnitud, por lo que cabe tener en cuenta las limitaciones de las estadísticas presentadas.
- Caben destacar diferencias en cuanto a la contratación de diferentes coberturas o de valores de deducibles, lo que limita la información disponible en los siniestros acontecidos en cada obra.
- Se confirma la relevancia de las etapas finales de la obra durante las pruebas y puesta en marcha de la central. En estas etapas, la central se encuentra con la mayor parte de la suma asegurada instalada y se someten a los equipos a presión, temperatura o energización.
- Se producen siniestros de gran cuantía en los equipos electromecánicos, lo que evidencia la importancia de llevar a cabo un control de la calidad riguroso en el suministro de material en fábrica así como en la etapa de diseño.