



## Sistemas de aislamiento y revestimiento de Alternadores

Eduardo Cassiano Carlin  
WEG  
Brasil  
[cassianoo@weg.net](mailto:cassianoo@weg.net)

Marcelo Defant dos Santos  
WEG  
Brasil  
[marcelods@weg.net](mailto:marcelods@weg.net)

### 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de esta guía es presentar los criterios, procesos y materiales utilizados en la protección de los sistemas de aislamiento y revestimiento WEG para diferentes aplicaciones (ambientes). El alcance de esta guía comprende los alternadores de corriente alterna, de construcción abierta y de baja tensión con bobinados aleatorios.

### 2. CONCEPTOS

Es importante destacar algunas definiciones de términos que se presentan en los estándares utilizados por WEG y que están asociados con materiales aislantes y sistemas de aislamiento.

**2.1. Índice Térmico (IEC 60216-1):** Es un valor numérico de la temperatura en grados Celsius derivado de la relación del envejecimiento térmico a un tiempo de 20.000 horas (u otro tiempo especificado);

**2.2. Clase térmica (IEC 60034-18-1):** Temperatura a la cual un sistema de aislamiento es aplicable, según se define en las clases térmicas en la IEC 60085 y según se utiliza en la norma IEC 60505;

**2.3. Material aislante eléctrico (IEC 60505):** Material con una conductividad eléctrica despreciable, utilizado para separar las partes conductoras en diferentes potenciales eléctricos;

**2.4. Sistema de aislamiento (IEC 60034-18-1):** Estructura aislante que contiene uno o más materiales aislantes eléctricos, aplicados en piezas conductoras, utilizados en máquinas eléctricas rotativas.



En las máquinas eléctricas rotativas, cuando se trata de las partes activas, no es correcto aplicar el concepto de material aislante o índice térmico. Se aplica el concepto de clase térmica y sistema de aislamiento.

Es importante señalar que los materiales y sistemas de aislamiento utilizados en los alternadores WEG están certificados por UL1446 - File E236096.

Los equipos utilizados en la impregnación de los componentes tienen un proceso automatizado con control de tiempo de los ciclos de baño de resina y medición de temperatura a través de sensores. El uso de estos equipos garantiza el correcto llenado de la resina y la protección de las bobinas.

WEG cuenta con varios tipos de procesos de impregnación, destacando el uso de la tecnología de impregnación VPI (Vacuum Pressure Impregnation) y otros procesos, como la impregnación por inmersión y/o por goteo.

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS POSIBLES AMBIENTES DE APLICACIÓN Y MATERIALES EMPLEADOS

Los alternadores WEG se utilizan en diversas aplicaciones. Desde los más sencillos, como los accionamientos por toma de fuerza, utilizando tractores en pequeñas propiedades, hasta los más complejos, como el funcionamiento en paralelo, los sistemas de transferencia en rampa y las aplicaciones remotas en buques y plataformas petrolíferas.

Las principales máquinas impulsoras son los motores de combustión interna con diesel, gas, biogás, biodiesel y etanol.



También son capaces de operar con turbinas de vapor, gas o hidráulicas. Operan en regímenes de servicio de emergencia, horas pico o servicio continuo, en diversas áreas, tales como: industrial, comercial, naval, construcción civil, telecomunicaciones, minería, condominios, riego, hospitales, data center, rural, aeropuertos, entre otros.

Debido a la gran variedad de aplicaciones en las que se utilizan los alternadores WEG, es necesario definir las principales características de los posibles ambientes utilizados:

**3.1. Ambiente Normal:** Se caracteriza por presentar una humedad relativa media inferior al 60% y, en consecuencia, no presentar ningún elemento agravante de corrosión, lo que permite el uso de materiales metálicos sin restricciones en el ambiente de aplicación;

**3.2. Ambiente Húmedo:** Presenta una humedad relativa media superior al 60%, donde se inicia el lento proceso de corrosión de los materiales. Cuando la humedad relativa media supera el 70%, el proceso de corrosión se acelera. Esto se debe a que este ambiente tiene partículas húmedas ( $H_2O$ ) suspendidas en la atmósfera, que pueden depositarse en la superficie del material y acelerar el proceso de corrosión. En este entorno no está indicado el uso de material de acero al carbono sin revestimiento. La recomendación mínima para este ambiente es la aplicación de materiales metálicos con revestimiento galvanizado o pintado;

**3.3. Ambiente Marítimo:** Presenta características más complejas en relación a los ambientes presentados anteriormente, ya que, además de la humedad, existe también la presencia de agua de mar, que presenta una solución de sales que contiene materia orgánica viva, gases disueltos y materia orgánica en descomposición. El agua de mar consiste en cloruro de sodio ( $NaCl$ ), cloruro de magnesio ( $MgCl_2$ ), sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ ) y sulfato de calcio ( $CaSO_4$ ). En este ambiente, los ataques se llevan a cabo principalmente por la acción del cloruro de sodio ( $NaCl$ ), que es un electrolito fuerte, cuando se deposita en la superficie del material, aumenta su conductividad, acelerando el mecanismo electroquímico de corrosión. El ambiente marítimo puede subdividirse en 2 categorías:

▪ **Onshore:** Situado en la zona costera donde se produce un sistema de condensación cíclica, con baja o nula salinidad y alto grado de corrosión.

▪ **Offshore:** Situado en medio del mar, donde existe un sistema cíclico de condensación, combinado con la fuerte presencia de salinidad y rayos UV, y un alto nivel de corrosión.

**3.4. Ambientes contaminados:** Es muy común aplicar productos en ambientes contaminados por agentes externos y/o generados en el propio ambiente. Ejemplo de contaminantes:

▪ **Amoníaco ( $NH_3$ ):** Se encuentra a menudo en el entorno de la industria química, en plantas de ácido nítrico ( $HNO_3$ ) y de urea ( $CH_4N_2O$ ), que utilizan amoníaco como materia prima. El principio de ataque es la combinación de amoníaco y óxido de azufre ( $SO_2$ ), formando sales compuestas de electrolitos fuertes. Puede ser utilizado en la industria de refinación de petróleo, como insumo en la fabricación de productos farmacéuticos y como gas refrigerante en los procesos de enfriamiento de cámaras frigoríficas y aire acondicionado. En la agricultura también se utiliza para la fabricación de fertilizantes y puede producirse de forma natural mediante la descomposición de materias orgánicas (estiércol).

▪ **Dióxido y Trióxido de Azufre ( $SO_2$  y  $SO_3$ ):** Normalmente se encuentran en ambientes industriales, ya que las industrias utilizan aceites combustibles que contienen porciones de azufre. El gas  $SO_2$  liberado a la atmósfera puede ser oxidado a  $SO_3$ . Esta reacción es catalizada por óxidos metálicos (como  $Fe_2O_3$ ) o por acción fotoquímica, donde la luz activa el  $SO_2$  permitiendo su oxidación para  $SO_3$ , estos reaccionan con la humedad del ambiente y forman ácido sulfuroso y ácido sulfúrico, siendo estos fuertes elementos de corrosión para el material. En la atmósfera, el  $SO_2$  se conecta al oxígeno, produciendo  $SO_3$ , donde tales sustancias acumuladas en las nubes se precipitan en forma de lluvia ácida. El  $SO_2$  sigue utilizándose en la industria de alimentos y bebidas como agente antibacteriano, desinfectante, antiséptico y conservante de productos.

▪ **Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ):** Es un ácido mineral fuerte, soluble en agua en cualquier concentración. El ácido sulfúrico tiene varias aplicaciones industriales y se produce en mayores cantidades que cualquier otra sustancia (sólo pierde en cantidad por el agua). Se puede utilizar en la fabricación de otros ácidos, fertilizantes, medicamentos, en el procesamiento de minerales y efluentes líquidos y en la refinación de petróleo.



El ácido sulfúrico reacciona con la mayoría de los metales (hierro, aluminio, zinc, manganeso y níquel) formando gas hidrógeno y el correspondiente sulfato metálico. El estaño y el cobre sólo reaccionan cuando están en contacto con ácido caliente concentrado. El plomo y el tungsteno son inertes al ácido sulfúrico.

- **Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S):** También conocido como gas de sulfuro de hidrógeno, es un compuesto corrosivo, venenoso y gaseoso en su estado natural. Se encuentra en el gas sintético de carbón, el gas natural y los productos de la industria petrolera, el papel y el biogás que contiene azufre. Tiene un olor similar al de los huevos podridos y su combinación con el aire es explosiva, se queman con una llama azul para formar dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y agua. Cuando está en solución acuosa se le llama sulfuro de hidrógeno, y se vuelve altamente corrosivo cuando está en contacto con la superficie del acero, formando un producto de corrosión de sulfuro ferroso (FeS). También reacciona con otros metales, como el cobre, la plata y el plomo.

Para ambientes sujetos a contaminación de materiales metálicos se necesita la utilización de elementos de fijación en acero inoxidable.

Los alternadores pueden seguir utilizándose en ambientes abrigados y desabrigados:

- **Abrigado:** Condición en la que el producto está protegido dentro de un recinto o una construcción, libre de contacto directo con agentes externos (agua, polvo, contaminantes, gases y clima de la naturaleza). Se consideran abrigados ambientes como: grupos electrógenos necesitados, grupos electrógenos abiertos en la sala de máquinas, etc. La aplicación de productos con grados de protección IP21 e IP23 es común en este ambiente.
- **Desabrigado:** La condición bajo la cual el producto está parcial o totalmente desprotegido, normalmente al aire libre (clima), y puede tener contacto directo con agentes externos (agua, polvo, contaminantes, gases y clima provenientes de la naturaleza). No se recomienda la aplicación de productos con protección ambiental IP21 e IP23.

#### 4. SISTEMAS DE AISLAMIENTO

WEG ofrece al mercado tres grados de aislamiento del producto. Las siguientes son descripciones, lugares de aplicación típicos y las especificaciones de protección para cada grado de aislamiento.

##### 4.1. Grado 1 - INDUSTRIAL

- **Descripción:** Utilizado para aplicaciones industriales, en ambientes normales y donde la humedad relativa media no supera el 95%, con temperatura ambiente inferior a 40°C, protegido, libre de contaminantes en materiales metálicos, con presencia de salinidad y vientos moderados (velocidad media anual inferior a 5 m/s).
- **Lugares típicos de aplicación:** Industrias, hospitales, residencias, establecimientos comerciales, granjas y eventos en ciudades costeras.
- **Especificación de protección:**  
Impregnación VPI para el estator principal;  
Pintura de los bobinados del estator principal con una capa de pintura epoxi poliamida gris;  
Impregnación por inmersión para el rotor principal;  
Pintura del núcleo magnético del estator de la excitatriz con una capa de pintura epoxi poliamida de color gris;  
Pintura de los bobinados del estator y del rotor excitador con una capa de pintura epoxi gris poliamida para la línea AG10;  
Impregnación por goteo inclinado del estator y rotor de la excitatriz;

##### 4.2. Grado 2 - NAVAL

- **Descripción:** Utilizado para aplicaciones en ambientes marítimos (onshore u offshore), donde la humedad relativa promedio puede superar el 95%, con una temperatura ambiente inferior a 40°C, protegido, libre de contaminantes en materiales metálicos, con presencia de salinidad y fuertes vientos (velocidad media anual superior a 5 m/s).
- **Lugares típicos de aplicación:** Puertos, buques y plataformas petrolíferas.
- **Especificación de protección:**  
Pintura del núcleo magnético del estator y del rotor principal con una capa de pintura epoxi de poliamida gris;  
Pintura de los bobinados del estator y del rotor principal con una capa de pintura epoxi gris poliamida;  
Impregnación VPI para el estator principal;  
Impregnación por inmersión para el rotor principal;  
Pintura de los bobinados y del núcleo magnético del estator y del rotor de la excitatriz con una capa de pintura epoxi poliamida gris;  
Impregnación por goteo inclinado del estator y rotor de la excitatriz;

Nota: Se recomienda el uso de resistencias de calentamiento.



#### 4.3. Grado 3 - ESPECIAL

- **Descripción:** Utilizado para aplicaciones en ambientes marítimos (onshore u offshore), y en ambientes contaminados (presencia de corrosión y abrasión), donde la humedad relativa promedio puede superar el 95%, con temperatura ambiente por debajo de 40°C, abrigados o sin hogar, donde hay presencia de salinidad, contaminantes a materiales metálicos y fuertes vientos (velocidad promedio anual superior a 5 m/s).
- **Lugares típicos de aplicación:** Bosques tropicales, trituradoras y minería en general, industrias químicas, planicies de inundación e islas con mares extremos.
- **Especificación de protección:**
  - Pintura del núcleo magnético del estator y del rotor principal con una capa de pintura epoxi de poliamida gris;
  - Pintura de los bobinados y del núcleo magnético del estator y del rotor principal con una capa de pintura epoxi poliamida gris y una capa de pintura anti-tracking roja;
  - Impregnación VPI para el estator principal;
  - Impregnación por inmersión para el rotor principal;
  - Aplicación de resina entre las capas del rotor principal;
  - Utilización de doble aislamiento en las ranuras del estator y del rotor principal;
  - Uso de los pilotes para cerrar las ranuras principales del estator;
  - Pintura del núcleo magnético del estator y del rotor excitatriz con una capa de pintura epoxi de poliamida gris;
  - Pintura de los bobinados y del núcleo magnético del estator y del rotor de la excitatriz con una capa de pintura epoxi poliamida gris y una capa de pintura anti-tracking roja;
  - Derating en la potencia nominal del alternador.

Nota: Se recomienda el uso de resistencias de calentamiento.

#### 5. REVESTIMIENTO DE COMPONENTES EXTERNOS

Para los alternadores WEG se utilizan básicamente tres tipos de especificaciones para pintar los componentes externos:

- 5.1. **Plan de Pintura 207A:** Utilizado para aplicaciones industriales protegidas, en ambientes húmedos con humedad relativa media inferior al 95%, con presencia de salinidad y libre de contaminantes nocivos para los materiales metálicos. Recomendado para uso en alternadores aplicados con el sistema de aislamiento de Grado 1.

- 5.2. **Plan de Pintura 212P:** Utilizado para aplicaciones en ambientes marítimos con humedad relativa promedio superior al 95%, expuestos a la presencia de salinidad y libres de contaminantes que causan la corrosión de materiales metálicos. Asegura la exposición a la intemperie, debido a la alta resistencia de la pintura de Poliuretano en este ambiente, manteniendo el color y el brillo. Recomendado para uso en alternadores aplicados con el sistema de aislamiento de Grado 2.

- 5.3. **Plan de Pintura 212E:** Utilizado para aplicaciones en ambientes marítimos con humedad relativa promedio superior al 95%, expuestos a la presencia de salinidad y en ambientes con alta concentración de productos químicos o que contienen contaminantes que causan corrosión de materiales metálicos. Recomendado para uso en alternadores aplicados con el sistema de aislamiento de Grado 3.

#### 6. ELEMENTOS DE FIJACIÓN

En los alternadores WEG se pueden utilizar dos tipos de materiales para los elementos de fijación:

- 6.1. **Acero carbono:** Materiales de revestimiento galvanizados, aplicados en ambientes con humedad relativa promedio inferior al 95%, libres de salinidad y contaminantes que causan la corrosión de los materiales metálicos. Recomendado para uso en alternadores aplicados con el sistema de aislamiento de Grado 1. En estos casos, los alternadores se suministran con todos los elementos de fijación externos pintados, lo que garantiza una mayor vida útil del material.
- 6.2. **Acero inoxidable:** Utilizado para aplicaciones en ambientes marítimos con humedad relativa promedio superior al 95%, y en ambientes que contienen contaminantes que causan la corrosión de materiales metálicos. Recomendado para uso en alternadores aplicados con el sistema de aislamiento de Grado 2 y Grado.



## 7. CARACTERÍSTICAS PARA CADA SISTEMA DE AISLAMIENTO

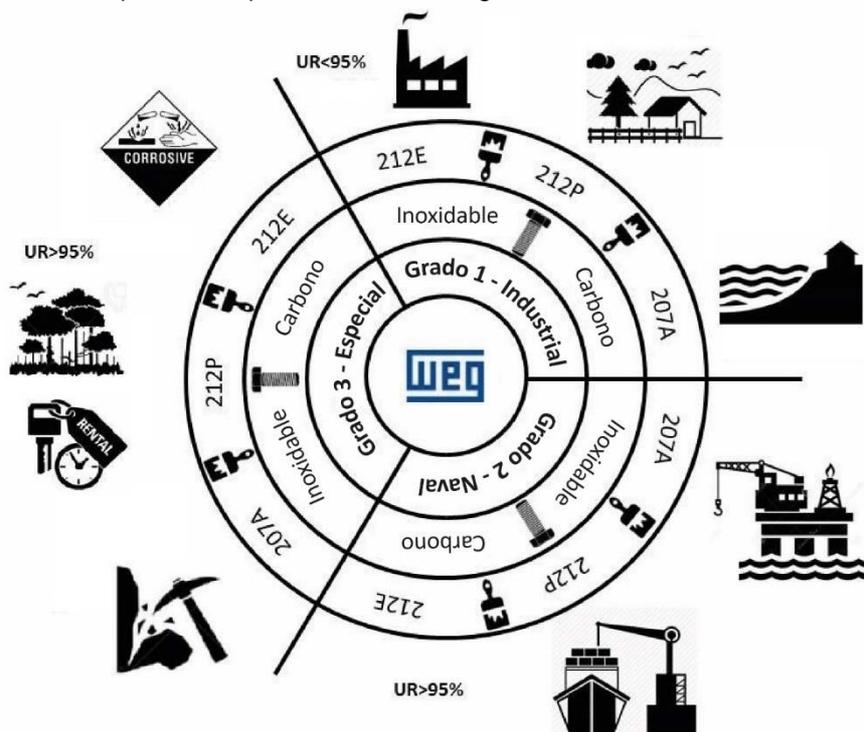
Las principales características de los sistemas de protección se presentan en la siguiente tabla, con el fin de facilitar la identificación del entorno y la elección del proceso más adecuado.

**Tabla 1:** Utilización de los alternadores conforme Grado de aislamiento

AISLAMIENTO	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Aplicación	INDUSTRIAL	NAVAL	ESPECIAL
Lugar de uso	Litoral Abrigado	Embarcado	Abrasión & Corrosión
Grado de protección	IP21 o IP23	IP21 o IP23	IP23
Norma de referencia	IEC 60721-3-3	IEC 60721-3-3	IEC 60721-3-3
Humedad relativa	UR ≤ 95%	UR ≤ 100%	UR ≤ 100%
	Condensación posible	Con condensación	Proyección partículas de agua
Salinidad	Presencia de sal	Niebla salina	Con marejada
Concentración de la sal	Hasta 1g/m <sup>3</sup>	Hasta 10g/m <sup>3</sup>	Hasta 30g/m <sup>3</sup>
Abrasividad	Partículas de polvo	Partículas de escoria	Partículas de arena
Paquete Placas	Sin pintura	Con pintura	Con pintura

## 8. POSIBLES COMBINACIONES DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO, ELEMENTOS DE FIJACIÓN Y PLAN DE PINTURA

Las posibles combinaciones para la selección de sistemas de aislamiento, elementos de fijación y planos de pintura según el ambiente aplicado se pueden ver en la Figura 1:



**Figura 1:** Guía de selección del sistema de protección, elementos de fijación y plan de pintura conforme el ambiente.

## 9. CONCLUSIÓN

WEG ofrece tres diferentes sistemas de aislamiento para sus alternadores de corriente alterna con construcción abierta, siendo cada uno de ellos para una aplicación en especial. Así, conocer la aplicación y los materiales utilizados en la protección de cada Grado de alternadores suministrados por WEG es de suma importancia para el cliente, que puede hacer la mejor elección de acuerdo a sus necesidades.

Por lo tanto, este material busca cubrir esta visión simplificada, sugiriendo el mejor ambiente de aplicación para cada sistema de aislamiento.