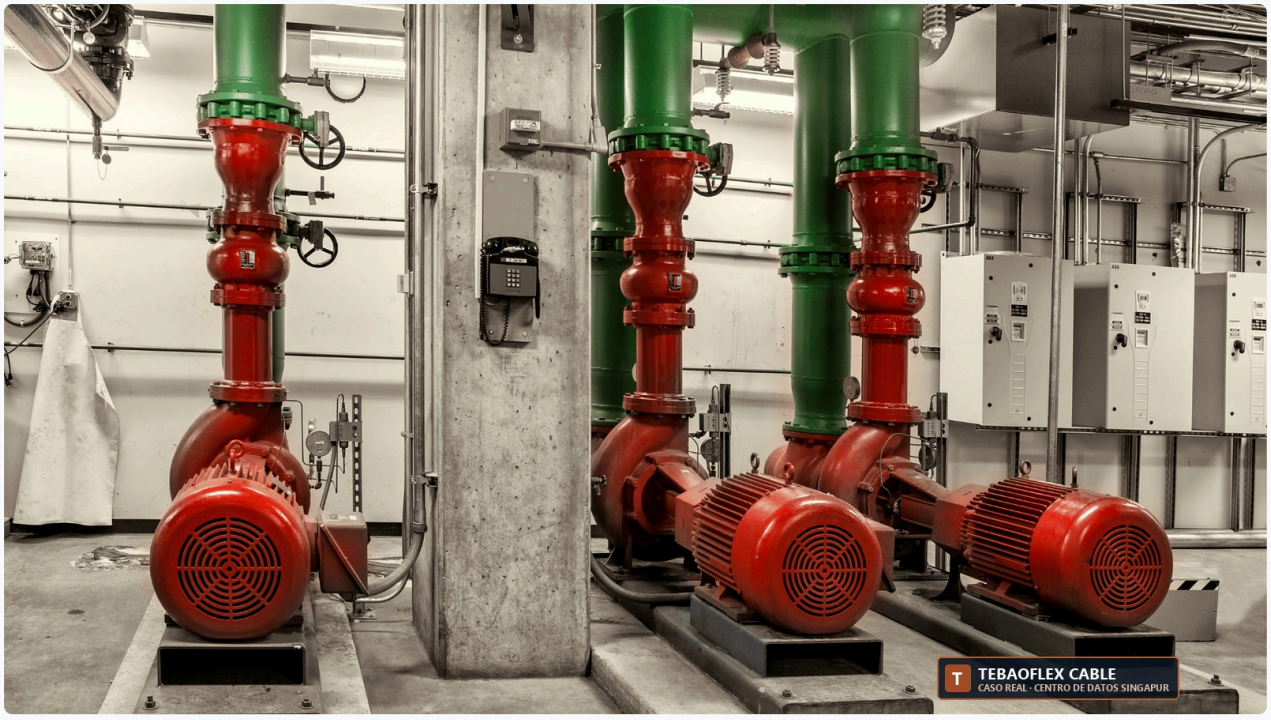
EXPEDIENTE TÉCNICO DE SUMINISTRO · CENTRO DE DATOS SINGAPUR

Especificación, Auditoría en Planta y Embarque: Cable VFD Doble Blindaje 2YSLCYK-J (4×120 mm² y 4×35 mm²)

Autor del expediente técnico: TEBAOFLEX CABLE-MIA · Fecha de registro: 3 de noviembre de 2026 · Normativa: DIN VDE 0250 · IEC 60228 Clase 5 · IEC 60502-1



Sala real de bombas centrífugas de agua helada y gabinetes variadores de frecuencia VFD en el centro de datos de Singapur alimentados con cable doble blindaje TEBAOFLEX 2YSLCYK-J.

En la infraestructura eléctrica de un **centro de datos de hiperescala en Singapur** —uno de los nodos digitales con estándares de disponibilidad más estrictos de Asia-Pacífico, regulado bajo marcos de eficiencia para salas críticas de la Infocomm Media Development Authority (IMDA) (consultado el 2026-11-03)— se fabricó, auditó físicamente y embarcó en dos contenedores completos (2 × 40' HC) un suministro de **cable para variador de frecuencia 2YSLCYK-J 0.6/1 kV** en secciones de **4×120 mm²** (equivalente funcional superior al **cable 4/0 AWG** o **cable 4 0**) y **4×35 mm²** (equivalente al **cable 2 AWG**). El diseño combina aislamiento de polietileno de baja capacitancia (PE «2Y») y doble blindaje concéntrico para alimentar bombas de agua helada, enfriadores (*chillers*), ventiladores y compresores sin interferir con redes de datos ni sensores BMS.

El contexto comercial de esta orden replica exactamente el cuello de botella que hoy enfrentan los contratistas electromecánicos en **Querétaro, Monterrey, Guadalajara y el Bajío mexicano**: la firma integradora en Singapur adquiría tradicionalmente cables `2YSLCYK-J` de origen europeo con plazos de entrega excesivos (14 a 18 semanas), pero desconfiaba de proveedores asiáticos sin trazabilidad comprobable. Tras auditar videos y fotografías de órdenes previas ejecutadas por **TEBAOFLEX** —como nuestro suministro verificado de cable apantallado EMC para grúas portuarias en Malasia— el comprador validó en fábrica el diámetro exacto de paso en tubería (**49.12 mm**) y la presencia física de la lámina de aluminio antes de liberar el embarque hacia el **Puerto de Singapur**.

> **Puntos Clave del Suministro 2YSLCYK-J en Centro de Datos (Resumen Ejecutivo)**
>
> **1) Dos calibres troncales entregados:** Configuración principal `2YSLCYK-J 4×120 mm²` (120 mm² vs 107.2 mm² del **cable awg 4 0**, capacidad de **292 A** en aire a 30 °C, peso **5,556.8 kg/km**) y configuración secundaria `4×35 mm²` (equivalente a **cable 2 AWG**, **135 A**, peso **1,817.3 kg/km**). **2) Aislamiento PE + Doble Pantalla EMC:** Núcleos aislados en polietileno (`2Y` , constante dieléctrica ≈ 2.3) que suprimen picos transitorios `dV/dt` , envueltos en lámina aluminio-polímero al 100 % (cara metálica hacia afuera) más malla trenzada de cobre estañado. **3) Auditoría dimensional para conduit:** Diámetro exterior verificado con vernier digital en **49.12 mm** (nominal de catálogo **51.9 mm**) para inserción garantizada dentro de tubería preinstalada, superando prueba dieléctrica AC de **4 kV / 5 min**.

¿Para qué sirve un variador de frecuencia en una bomba de centro de datos y por qué exige un cable VFD especial?

Un **variador de frecuencia** (`VFD`) en el sistema hidráulico de enfriamiento de un **centro de datos** modula en tiempo real las revoluciones de bombas centrífugas de agua helada, torres de enfriamiento y manejadoras de aire según la carga térmica de los servidores. Dado que la potencia absorbida por una bomba varía con el cubo de la velocidad (leyes de afinidad), reducir el giro un 20 % disminuye el consumo eléctrico hasta cerca de un 49 %. Sin embargo, esa eficiencia se logra conmutando transistores `IGBT` a frecuencias portadoras de 2 kHz a 16 kHz con frentes de pulso ultrarrápidos (**50 a 200 ns**).

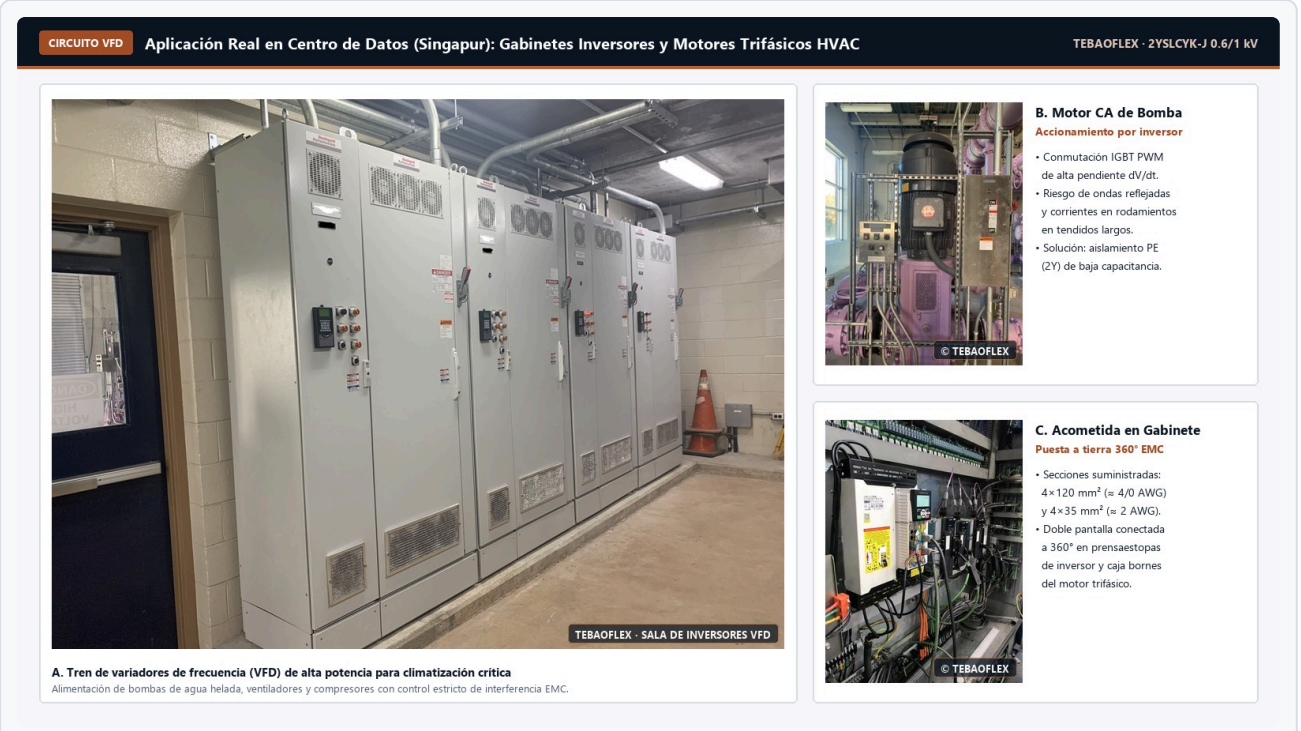


Figura 1 · Circuito real de potencia en el centro de datos de Singapur: tren de gabinetes inversores VFD (izquierda), motor vertical de bomba de enfriamiento (arriba derecha) y acometida blindada en gabinete (abajo derecha).

Cuando se conecta un inversor industrial (como unidades ABB, Siemens o Danfoss habituales en plantas mexicanas) mediante cables de fuerza sin blindaje o con aislamiento de PVC ordinario en tendidos medianos y largos, aparecen tres patologías eléctricas documentadas en nuestra guía base sobre cables para variadores de frecuencia VFD en motores industriales:

- **Transitorios en cables de variadores de frecuencia (ondas reflejadas dV/dt):** Por desadaptación de impedancia característica entre el cable (~50–90 Ω) y el estator del motor (varios cientos de ohmios), cada pulso PWM rebota en los bornes del motor. En recorridos superiores a 30–50 metros, la tensión pico puede alcanzar **2.0 a 2.4 veces la tensión del bus DC**, perforando prematuramente el esmalte del devanado.
- **Corrientes capacitivas parásitas y disparo térmico del inversor:** Un aislamiento polar como el PVC posee alta permitividad relativa (`εr ≈ 4.5–6.0`). En cada flanco de conmutación, el propio cable actúa como un condensador que exige picos de corriente de carga a los módulos IGBT, calentando el variador y activando alarmas espurias de sobrecorriente.
- **Interferencia electromagnética (EMI) y electroerosión de rodamientos:** Las tensiones de modo común inducen corrientes de eje que pican las pistas de los baleros del motor (efecto *fluting*) e irradian ruido de alta frecuencia hacia buses

Modbus, Ethernet industrial y lazos 4–20 mA cercanos, riesgo crítico analizado en nuestro estudio sobre compatibilidad electromagnética EMC y control de interferencias.

Desglose de ingeniería del código 2YSLCYK-J (0.6/1 kV): aislamiento PE «2Y» y doble apantallamiento EMC

La nomenclatura alemana `2YSLCYK-J` (diseñada con referencia a DIN VDE 0250 e IEC 60502-1 para tensión nominal **U_0/U = 0.6/1 kV**, con tensión máxima admisible de operación de **700/1200 V AC** y **900/1800 V DC**) describe capa por capa por qué este diseño supera a un cordón de control convencional:

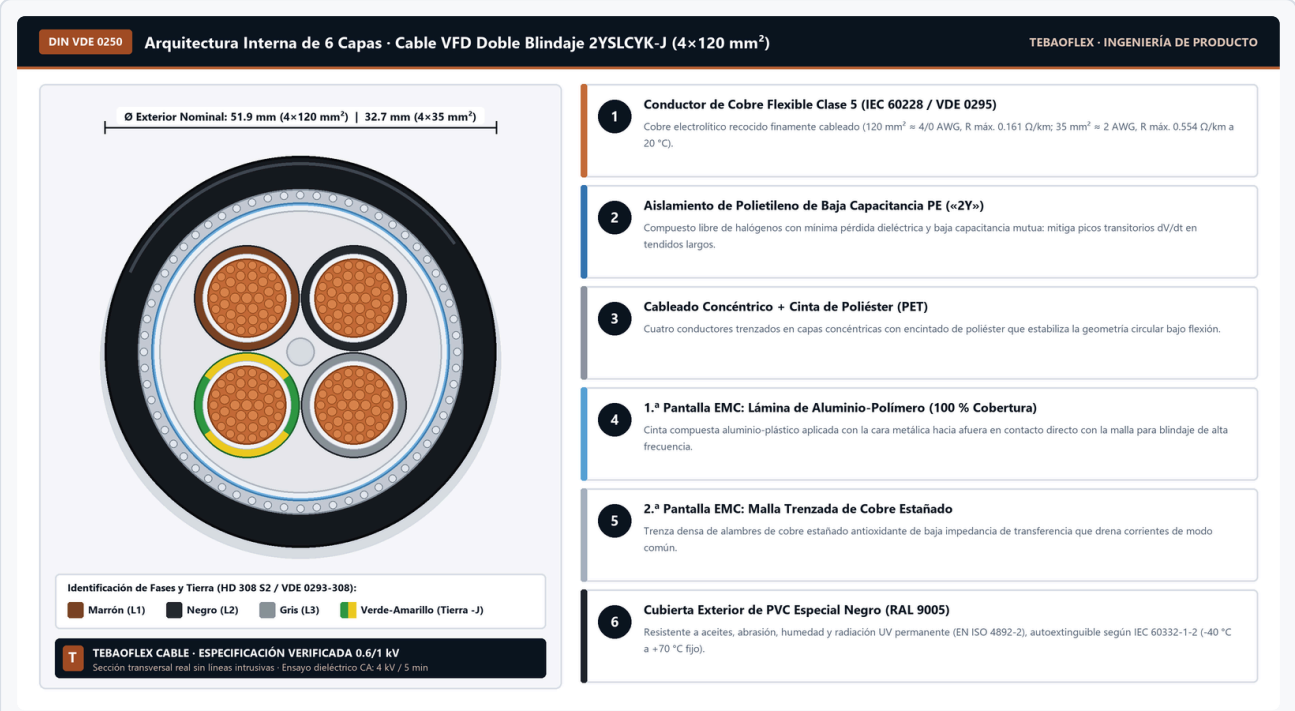


Figura 2 · Arquitectura concéntrica de 6 capas del cable TEBAOFLEX 2YSLCYK-J 0.6/1 kV: cuatro conductores Clase 5 (marrón, negro, gris y tierra verde-amarillo -J), aislamiento PE «2Y» y doble pantalla EMC.

1. **Conductores de cobre recocido Clase 5 (IEC 60228 / DIN VDE 0295):** Alambres finos de cobre electrolítico desnudo de alta conductividad y resistencia a la fatiga por vibración en conexiones de bombas, ventiladores, mezcladoras y máquinas herramienta. Aun en gran sección (**120 mm^2**), la cuerda Clase 5 facilita el enrutamiento en charolas y cajas de bornes frente a conductores rígidos Clase 2.
2. **Aislamiento de polietileno de baja capacitancia PE (código «2Y»):** Compuesto libre de halógenos con permitividad dieléctrica mínima ($\varepsilon r \approx 2.3$), resistencia de

aislamiento mínima de **20 MΩ·km a 20 °C** y excelente resistencia química frente a humedad, ácidos y álcalis. Identificación cromática según `HD 308 S2 / VDE 0293-308`: marrón, negro, gris y conductor de protección verde-amarillo (sufijo `-J`).

3. **Cableado concéntrico y encintado separador de poliéster (PET):** Los cuatro núcleos aislados se cablean en paso corto simétrico y se envuelven con cinta de poliéster que preserva la circularidad del cable y equilibra la impedancia entre fases.
4. **Primera pantalla EMC — Lámina compuesta de aluminio-polímero (100 % cobertura):** Cinta laminada aluminio-plástico aplicada helicoidalmente **con la cara metálica hacia afuera** para mantener contacto galvánico continuo a lo largo de todo el cable con la malla superior y bloquear emisiones radiadas en el rango de megahercios.
5. **Segunda pantalla EMC — Malla trenzada de cobre estañado:** Trenza densa de alambres de cobre recubiertos de estaño antioxidante (resistente a atmósferas húmedas e industriales) que proporciona una trayectoria de muy baja impedancia de transferencia (`ZT`) para drenar a tierra las corrientes de modo común de baja y media frecuencia.
6. **Cubierta exterior de PVC especial negro RAL 9005 (código «K»):** Formulación industrial resistente a aceites, abrasión, humedad e intemperie, con resistencia permanente a radiación ultravioleta verificada bajo `EN ISO 4892-2 método A`, no propagador de la llama según IEC 60332-1-2, libre de silicona y cadmio (cumplimiento `RoHS 2011/65/EU`).

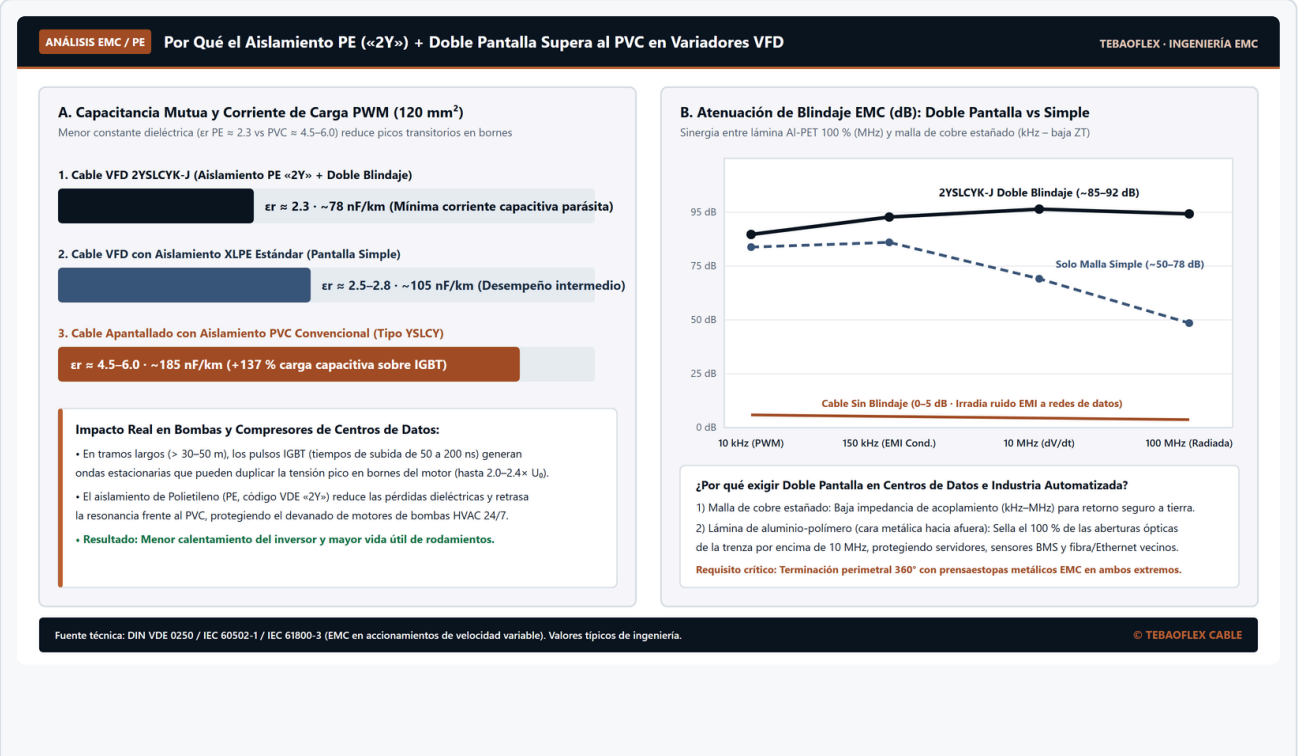


Figura 3 · Comparativa de desempeño eléctrico y EMC: reducción de capacitancia parásita con aislamiento PE «2Y» (izquierda) y respuesta de atenuación de la doble pantalla desde 10 kHz hasta 100 MHz (derecha).

En México, muchos compradores buscan alternativas de **cable para variador de frecuencia** en catálogos nacionales (por ejemplo, referencias locales tipo Viakon o diseños norteamericanos con aislamiento XLPE y armadura/cinta de cobre) o evalúan cuándo conviene un cordón industrial pesado frente a un diseño simétrico europeo. Como detallamos en nuestra comparativa entre cables de potencia pesada frente a cables VFD apantallados para motores, en salas limpias de centros de datos, plantas automotrices y líneas robotizadas donde el cable corre fijo en charola o conduit junto a redes sensibles, la combinación **PE + doble pantalla concéntrica del 2YSLCYK-J** ofrece mayor flexibilidad de montaje que una cinta corrugada rígida y menor capacitancia que el PVC.

Equivalencia con Cable 4 0 (4/0 AWG) y Cable 2 AWG: amperaje, diámetro para tubería y factor térmico

Para facilitar la ingeniería de conversión en proyectos ejecutados bajo normativa mexicana (`NOM-001-SEDE`) que reciben especificaciones europeas o asiáticas en milímetros cuadrados, la orden del centro de datos de Singapur abarcó dos calibres estratégicos cuya correspondencia con el sistema `AWG` conviene precisar al milímetro:

Tabla 1 · Datos constructivos y eléctricos verificados del pedido TEBAOFLEX 2YSLCYK-J (0.6/1 kV) y su equivalencia AWG

PARÁMETRO TÉCNICO	2YSLCYK-J 4 × 120 MM² (TRONCAL CHILLER / BOMBA)	2YSLCYK-J 4 × 35 MM² (CIRCUITO SECUNDARIO HVAC)	NORMA / CONDICIÓN DE REFERENCIA
Calibre AWG equivalente funcional	Superior a Cable 4/0 AWG («Cable 4 0»: 107.2 mm² → +11.9 % Cu)	Superior a Cable 2 AWG (33.6 mm² → +4.1 % Cu)	Conversión geométrica IEC 60228 vs ASTM
Diámetro exterior nominal (OD)	51.9 mm nominal (49.12 mm verificado en lote)	32.7 mm nominal	Control dimensional para paso en tubería

PARÁMETRO TÉCNICO	2YSLCYK-J 4 × 120 MM² (TRONCAL CHILLER / BOMBA)	2YSLCYK-J 4 × 35 MM² (CIRCUITO SECUNDARIO HVAC)	NORMA / CONDICIÓN DE REFERENCIA
Índice de cobre neto	4,287.6 kg/km	1,245.7 kg/km	4 conductores Clase 5 + pantalla trenzada CuSn
Masa total aproximada del cable	5,556.8 kg/km (5.56 kg/m)	1,817.3 kg/km (1.82 kg/m)	Para cálculo de charola portacables y bobinas
Capacidad de corriente (IB)	Aprox. 292 A	Aprox. 135 A	Aire libre a 30 °C (aplicar factores de ruta)
Resistencia CC máx. del conductor	0.161 Ω/km máx. a 20 °C	0.554 Ω/km máx. a 20 °C	IEC 60228 Clase 5 cobre recocido
Tensión nominal / Ensayo dieléctrico	0.6/1 kV (Umáx 700/1200 V AC) · Prueba 4 kV / 5 min	0.6/1 kV (Umáx 700/1200 V AC) · Prueba 4 kV / 5 min	Entre fases y entre fases y pantalla (DIN VDE 0250)
Temperatura de servicio / Cortocircuito	70 °C continuos en conductor / 160 °C máx. 5 s	70 °C continuos en conductor / 160 °C máx. 5 s	-40 °C a +70 °C fijo; -5 °C a +70 °C flexión ocasional
Radio mínimo de curvatura	10 × D fijo (~519 mm) / 20 × D libre (~1,038 mm)	10 × D fijo (~327 mm) / 20 × D libre (~654 mm)	Para cables con diámetro exterior > 20 mm
Fuerza máxima de tracción admisible	9,600 N (calculada sobre 4 × 120 mm²)	2,800 N (calculada sobre 4 × 35 mm²)	20 N/mm² sobre sección total de cobre

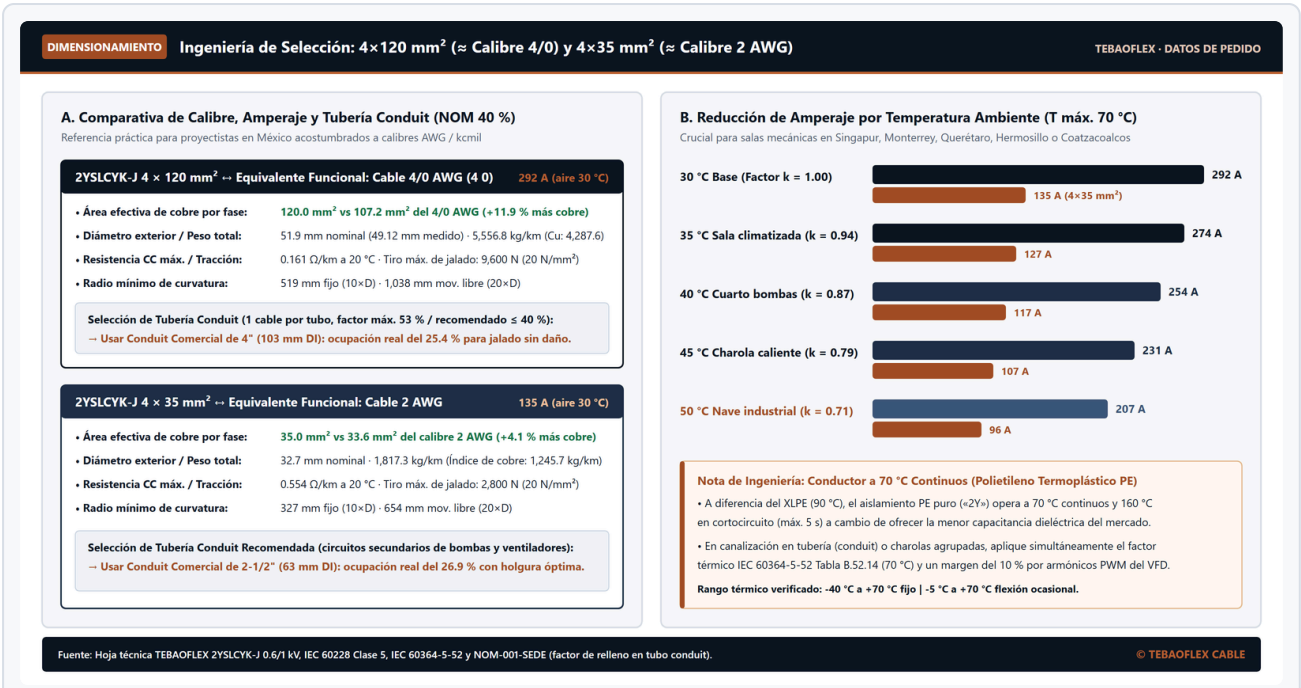


Figura 4 · Guía rápida de selección para proyectistas: comparativa de sección efectiva y diámetro de tubería conduit recomendada (izquierda) y curva de reducción de amperaje por temperatura ambiente para aislamiento PE de 70 °C (derecha).

> **Regla Crítica de Temperatura y Canalización en Conduit para Aislamiento PE (70 °C)**
>
> Al calcular el **calibre de cable blindado para variadores de frecuencia**, recuerde que el polietileno termoplástico (`PE «2Y»`) tiene temperatura máxima continua en el conductor de **70 °C** (no 90 °C como el XLPE/EPR). Si el cuarto mecánico en Monterrey, Mérida o Singapur opera a **40 °C**, la corriente admisible base se multiplica por `k = 0.87` (IEC 60364-5-52 Tabla B.52.14), pasando de 292 A a **254 A** en 4×120 mm², antes de aplicar agrupamiento en tubo o armónicos PWM. Para un solo cable multiconductor 4×120 mm² (OD ~49.1–51.9 mm), proyecte **tubería conduit de 4 pulgadas (103 mm DI)** para mantener una ocupación limpia del ~25 %, muy por debajo del tope normativo y respetando el tiro máximo de **9,600 N**.

Auditoría real de orden ejecutada: medición con vernier para tubería, disección de lámina de aluminio y embarque a Singapur

A diferencia de fichas teóricas de catálogo, este lote fue sometido a una inspección documental y fotográfica paso a paso solicitada directamente por el cliente antes de

autorizar el despacho marítimo. Cada punto de control resuelve una inquietud real de obra en instalaciones de misión crítica:

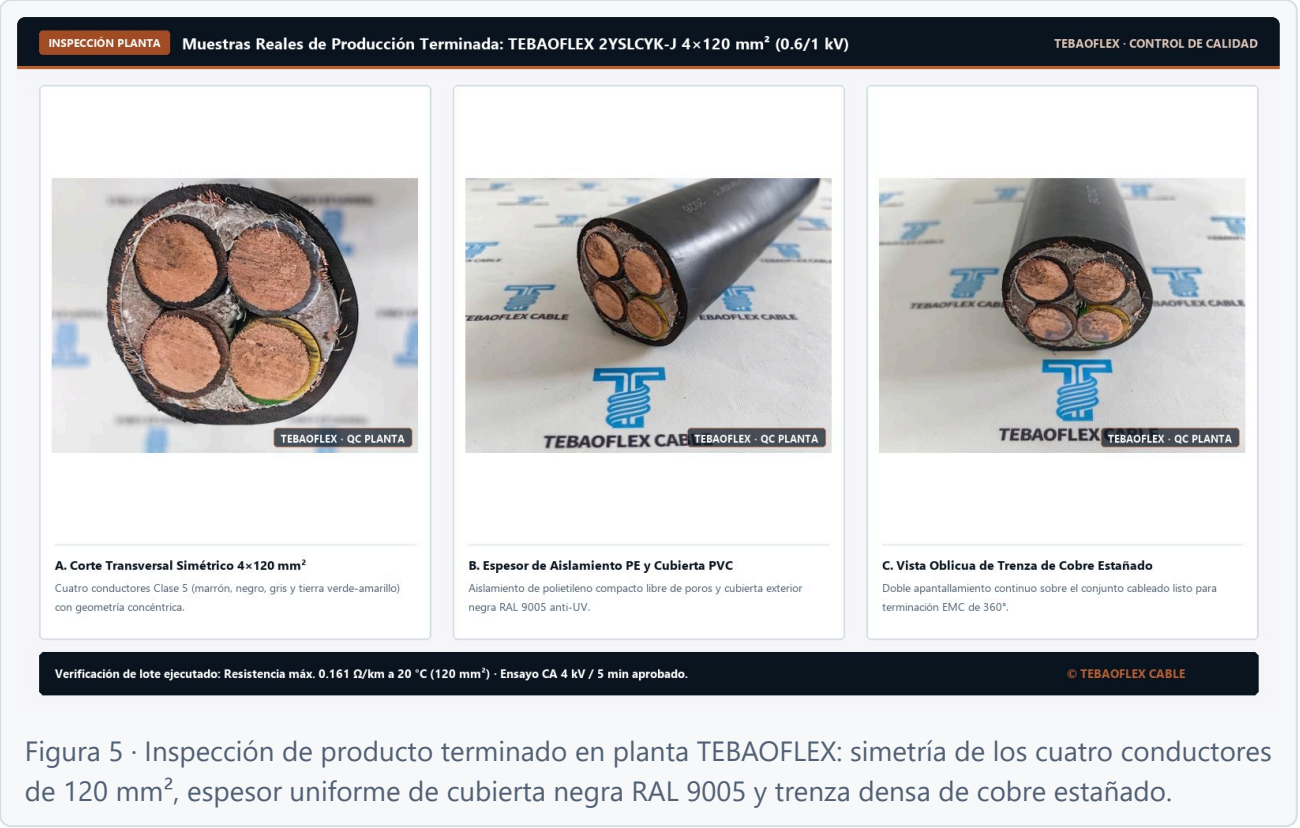


Figura 5 · Inspección de producto terminado en planta TEBAOFLEX: simetría de los cuatro conductores de 120 mm², espesor uniforme de cubierta negra RAL 9005 y trenza densa de cobre estañado.

1. Verificación del diámetro exterior para paso en tubo (49.12 mm) y disección de la 1.ª pantalla de aluminio

El equipo de obra en Singapur estableció dos condiciones no negociables antes del embarque: primero, **el cable debía instalarse dentro de tubería rígida preexistente** (consulta frecuente asociada a *4/0 AWG cable diameter*), por lo que no se aceptaban desviaciones por exceso ni por defecto respecto al plano aprobado; segundo, el comprador solicitó abrir físicamente una muestra del lote para comprobar que la **lámina compuesta de aluminio (Aluminium-laminated foil)** había sido efectivamente incorporada bajo la malla de cobre estañado.



Figura 6 · Evidencia enviada y aprobada por la ingeniería del cliente: lectura real de 49.12 mm en calibrador digital para paso en tubería (izquierda) y muestra diseccionada exhibiendo los cuatro aislamientos PE y la cinta laminada de aluminio (derecha).

2. Marcado en cubierta DIN VDE 2026, bobinas reforzadas IPPC y arribo al Puerto de Singapur

Una vez aprobada la geometría interna, se verificó la impresión longitudinal indeleble sobre la cubierta exterior negra `RAL 9005` con la leyenda exacta pactada en orden de compra: `«4Cx120MMSQ 600/1000V DIN VDE Standard 2026»` acompañada de metrado secuencial para control de cortes en obra.



Figura 7 · Trazabilidad física del lote 2026: impresión nítida de sección, tensión nominal 600/1000 V y referencia normativa DIN VDE sobre cubierta libre de silicona y cadmio.

Debido al elevado peso unitario del calibre **4×120 mm² (5.56 toneladas por kilómetro)**, el cable se acondicionó en carretes de madera maciza con tirantes radiales de acero en las bridas, duela cerrada zunchada con fleje metálico, capuchones termocontraíbles herméticos en las puntas y sello fitosanitario internacional **IPPC (ISPM-15 / NIMF-15)**. Finalmente, la carga completa ocupó **dos contenedores 40' High Cube (2/2)** trincados en planta con tránsito marítimo directo desde Shanghái (`CNSHA`) hasta el **Puerto de Singapur (SGSIN)**.

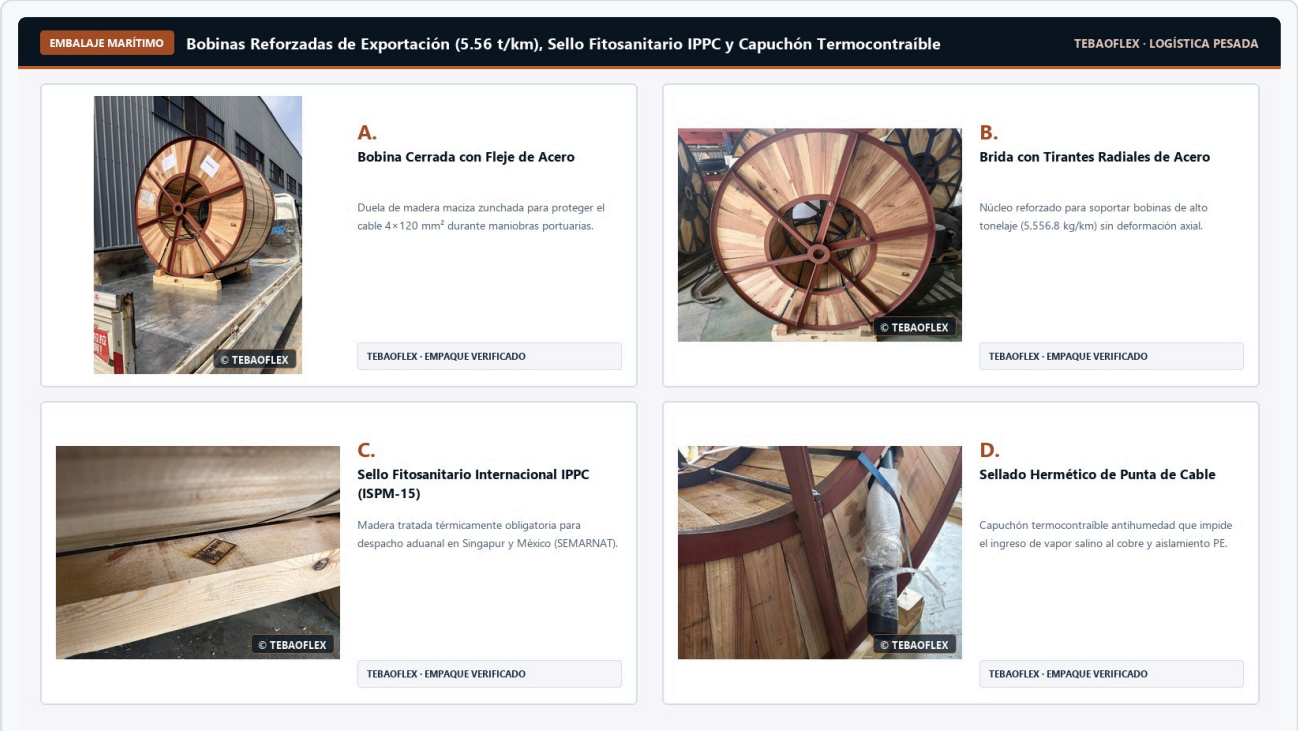


Figura 8 · Estándar de empaque marítimo pesado TEBAOFLEX: duela cerrada con fleje de acero (A), brida reforzada con tirantes metálicos (B), sello térmico IPPC ISPM-15 (C) y sellado antihumedad de puntas (D).

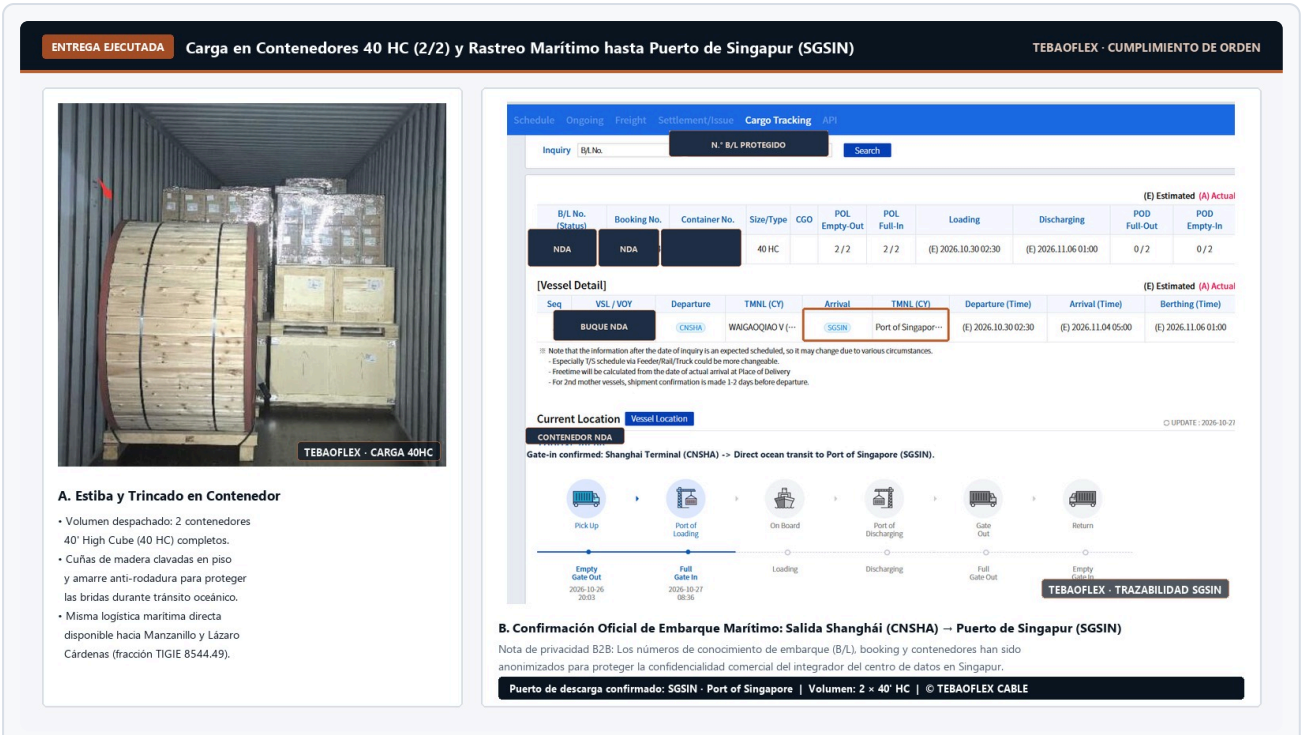


Figura 9 · Cierre logístico verificable: estiba y acuñado de bobinas dentro de contenedor 40' HC (izquierda) y registro oficial de tránsito oceánico hacia Port of Singapore — SGSIN con códigos sensibles protegidos bajo NDA (derecha).

Para importadores industriales y firmas de ingeniería en México, aplicamos exactamente el mismo protocolo de inspección previa al embarque, embalaje `NOM-144-SEMARNAT (NIMF-15)` y documentación aduanal hacia Manzanillo o Lázaro Cárdenas descrita en nuestra guía de importación y fracción arancelaria TIGIE 8544 para cables especiales. Asimismo, cuando el proyecto requiere alimentar maquinaria portátil expuesta a arrastre severo en lugar de tendido fijo en charola, puede complementar su especificación con nuestro cable portátil extra flexible Type W 2000 V o revisar otros suministros internacionales en la sección de casos de proyectos ejecutados.

Reglas de instalación EMC de 360° y preguntas frecuentes sobre el cable 2YSLCYK-J

El mejor **cableado de variador de frecuencia** pierde hasta el 70 % de su eficacia de blindaje en megahercios si la pantalla se retuerce formando una «cola de cochino» (*pigtail*) al llegar al tablero. Para preservar la baja impedancia de transferencia del diseño `2YSLCYK-J` en centros de datos y plantas automatizadas:

- **Conexión perimetral a 360° en ambos extremos:** Retire únicamente un anillo de cubierta exterior de PVC e inserte el cable a través de prensaestopas metálicos EMC

con resorte toroidal o abrazaderas colectoras planas sobre la placa galvanizada del gabinete VFD y en la caja metálica de bornes del motor, siguiendo las instrucciones EMC del fabricante del convertidor.

- **Contacto íntimo entre ambas pantallas:** No recorte prematuramente la lámina de aluminio antes del punto de abrazadera; asegure que la malla de cobre estañado abrace el contacto de 360° sin dejar hebras sueltas hacia las terminales de fase.
- **Evaluación de reactancias o filtros en tendidos largos:** En distancias elevadas entre inversor y motor (típicamente > 75–100 m según frecuencia de conmutación del fabricante), combine el aislamiento PE de baja capacitancia con reactancias de salida, filtros `dV/dt` o filtros senoidales para limitar la caída de tensión y el esfuerzo dieléctrico.
- **Límite mecánico de movimiento:** Aunque posee conductores flexibles Clase 5 aptos para tendido fijo y movimiento ocasional sin tracción forzada (-5 °C a +70 °C), el modelo `2YSLCYK-J` estándar no está diseñado para ciclos continuos en cadena portacables de alta aceleración; para servicio dinámico severo consulte nuestras soluciones para **equipo móvil y sistemas portacables dinámicos** o solicite asesoría directa en **ingeniería y cotización TEBAOFLEX**.

¿Qué significa exactamente la designación 2YSLCYK-J en un cable VFD?

En la codificación alemana adaptada de DIN VDE, «2Y» identifica el aislamiento de polietileno (PE) de baja capacitancia y baja pérdida dieléctrica; «SL» refiere al diseño de control/potencia optimizado para variadores; «C» indica la pantalla concéntrica combinada (lámina de aluminio más malla trenzada de cobre estañado); «Y» y «K» señalan la cubierta exterior especial de PVC negro (RAL 9005) apta para intemperie y uso fijo; y «-J» confirma la inclusión del conductor de tierra verde-amarillo.

¿El cable 2YSLCYK-J 4×120 mm² sustituye a un cable 4 0 (4/0 AWG) y el 4×35 mm² a un cable 2 AWG?

Sí, con margen positivo de cobre en ambos casos. El conductor métrico de 120 mm² posee un 11.9 % más de sección conductora que el calibre 4/0 AWG (107.2 mm²), mientras que 35 mm² supera en 4.1 % al calibre 2 AWG (33.6 mm²). Siempre debe verificarse el diámetro exterior (~49.1 a 51.9 mm en 4×120 mm²) para confirmar compatibilidad con prensaestopas EMC y el factor de relleno de la tubería conduit.

¿Qué ventaja aporta el doble blindaje frente a un cable con pantalla simple en un centro de datos?

La malla trenzada de cobre estañado ofrece baja resistencia óhmica e impedancia de acoplamiento para drenar corrientes de modo común en kilohercios, pero presenta pequeñas ventanas ópticas a frecuencias muy altas. La primera pantalla de cinta aluminio-polímero (100 % de cobertura, cara metálica hacia afuera) sella esas aberturas en el rango de megahercios, evitando que los armónicos de conmutación IGBT perturben redes Ethernet, fibra instrumentada y controladores BMS cercanos.

¿Puede instalarse en cuartos húmedos, charolas, ductos o intemperie?

Sí. Gracias a su cubierta exterior de PVC especial negro RAL 9005 resistente a aceites y estabilizada contra rayos UV conforme a EN ISO 4892-2 método A, el cable es apto para rutas fijas en charolas, ductos y tuberías (conduit) en locales secos, húmedos o mojados, así como en exteriores protegidos (-40 °C a +70 °C fijo). El enterramiento directo sin ducto o la inmersión permanente en agua deben validarse por separado con fábrica.

¿Qué datos técnicos y comerciales se requieren para cotizar un lote hacia México?

Basta indicar la sección y número de conductores (por ejemplo, 4×120 mm^2, 4×35 mm^2 o configuración 3 fases + 3 tierras simétricas 2YSLCYK-J 3×… + 3G…), metraje total, tramos de corte por bobina, diámetro máximo admisible si irá alojado en tubería preexistente, temperatura ambiente del sitio e Incoterm preferido (FOB, CIF Manzanillo / Lázaro Cárdenas o entrega en planta).

Referencias normativas y técnicas

1. Infocomm Media Development Authority (IMDA Singapore). Green Data Centre Standard & Digital Infrastructure Guidelines in Singapore.
2. VDE Verlag. DIN VDE 0250 / VDE 0293-308 / VDE 0295: Cables aislados, códigos de colores de conductores e hilos flexibles para instalaciones industriales de baja tensión.
3. International Electrotechnical Commission. IEC 60228: Conductors of insulated cables — Conductores flexibles de cobre Clase 5 (120 mm^2: R máx. 0.161 Ω/km; 35

mm²: R máx. 0.554 Ω/km a 20 °C).

4. International Electrotechnical Commission. IEC 60502-1: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um = 1.2 kV) — Requisitos eléctricos y ensayos dieléctricos.
5. International Electrotechnical Commission. IEC 61800-3: Adjustable speed electrical power drive systems — Part 3: EMC requirements and specific test methods for PDS and machine tools.
6. International Electrotechnical Commission. IEC 60364-5-52: Low-voltage electrical installations — Wiring systems (Tabla B.52.14, factores de corrección por temperatura ambiente para aislamiento termoplástico de 70 °C).