

INFORME FINAL PROYECTO P0121-2012

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA PARA LA INCORPORACIÓN
DE PROGRAMAS DE SEGURIDAD ELÉCTRICA, CON ENFOQUE EN PELIGROS
DE RELÁMPAGO DE ARCO**

Investigador Principal:

César Muñoz Chacón: Licenciado Ciencias de la Ingeniería, Ing. Eléctrico, Experto en
Prevención de Riesgos

Colaboradores y/o Revisores:

Maritza Salazar: Ingeniero Prevención de Riesgos

Leonardo Ahumada: Ingeniero Civil Construcción

Joacín Ramírez: Ingeniero Civil Eléctrico

Ángela Marín: Ingeniero Prevención de Riesgos

Nicolás Loyola: Téc. Eléctricista, Exp. Prev. Riesgos

Álvaro Vicuña: Ingeniero Prevención de Riesgos

Stefan Danilla Enei: Cirujano Plástico

Ricardo Roa: Médico Jefe Plástica y Quemaduras HT ACHS

Gerardo Correa: Cirujano Plástico

Esta investigación fue realizada entre noviembre de 2012 y abril de 2014, financiada por
FUCYT-ACHS, en la convocatoria de proyectos 2013.

RESUMEN

El presente proyecto de investigación estudia el fenómeno llamado relámpago de arco (Arc Flash) y establece medidas de control y mitigación de los peligros eléctricos. Uno de los focos de estudio se centra en las quemaduras eléctricas resultantes de contactos por choque eléctrico y aquellas derivadas de incidentes por arco eléctrico.

El objetivo del presente proyecto se enfoca en caracterizar e identificar el peligro de arco eléctrico dentro de una sub-clasificación de peligros eléctricos, esto con el fin de proponer herramientas de evaluación y control de seguridad eléctrica que aporten en el control de estos peligros.

La metodología para llevar a cabo la investigación, fue desglosar una estadística global de accidentes laborales en Chile, a partir de la información desprendida de las estadísticas internas de la ACHS (Asociación Chilena de Seguridad) y de organismos públicos (Superintendencia de Seguridad Social -SUSESO-, SEREMI de Salud, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles -SEC- y otros). Con los resultados y análisis, se busca desarrollar herramientas preventivas, tanto para la evaluación cualitativa y cuantitativa de variables y parámetros de un sistema eléctrico, para luego proponer un modelo de Programa Estándar de Seguridad Eléctrica, basado en la norma NFPA 70E¹.

Como principales resultados se tiene, la focalización de rubros y sectores críticos, la individualización de procesos que generan accidentes de alto impacto, la inclusión de propuestas de requisitos de seguridad eléctrica en la normativa eléctrica chilena y estrategias internas en ACHS, respecto a propuestas y herramientas preventivas, ya sea en especialidades técnicas como en apoyo a expertos sectoriales.

¹ NFPA 70E “Seguridad Eléctrica en Lugares de Trabajo”, es una norma de consenso general de la National Fire Protection Association, Asociación de Protección contra Incendios, de Estados Unidos. [1]

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Peligro de relámpago de arco (Arc Flash).....	5
2.2	Peligro de choque eléctrico.....	14
2.3	Factores del entorno de trabajo.....	23
2.4	Panorama general de accidentes de origen laboral.....	25
2.5	Desglose de estadísticas de accidentes eléctricos en EE.UU.....	26
2.6	Antecedentes de incendios de origen eléctrico.....	29
3.	OBJETIVOS.....	40
3.1	Objetivos Generales.....	40
3.2	Objetivos específicos.....	40
3.3	Hipótesis.....	40
4.	METODOLOGÍA.....	41
5.	RESULTADOS.....	49
5.1	Accidentes eléctricos fatales población chilena.....	49
5.2	Accidentes eléctricos fatales en el ámbito laboral.....	52
5.3	Análisis base estadística de ACHS.....	54
5.4	Principales estadígrafos de acuerdo a nueva base de datos de accidentes eléctricos de origen laboral en ACHS.....	63
5.5	Estadísticas relacionadas con quemaduras de origen eléctrico.....	67
5.6	Costos de los accidentes eléctricos.....	75
5.7	Estadísticas operacionales de accidentes eléctricos.....	76
5.8	Datos estadísticos de la SEC.....	84
5.9	Detalle de levantamiento en ACHS y herramienta de evaluación de seguridad eléctrica.....	96
5.10	Control de ingeniería para peligros eléctricos: protecciones eléctricas.....	102
5.11	Prevención de incendios y fallas de origen eléctrico.....	110
5.12	Gestión de seguridad para la prevención de accidentes eléctricos en la industria. Implementación de Programa de Seguridad Eléctrica.....	113
5.13	Seguridad eléctrica incorporada en la gestión del experto en prevención.....	128
6.	CONCLUSIONES.....	132
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	135
8.	ANEXOS.....	138

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de los accidentes eléctricos generalmente ha sido ligado al contacto con la energía eléctrica, es decir, al choque eléctrico (accidente relacionado principalmente con los niveles de voltaje de las instalaciones y el paso de corriente por el organismo). Sin embargo, en los EE.UU., en los años '80 el Ingeniero Ralph Lee realizó el primer documento relacionado con accidentes eléctricos y las lesiones de quemaduras². Lo tituló "El otro peligro eléctrico: quemaduras por relámpago de arco" y en éste estableció una forma predictiva de cuantificar el nivel de riesgo, definiendo un nuevo enfoque en materia de peligros eléctricos, relacionándolo con el accidente por los efectos del arco eléctrico.

De acuerdo a los antecedentes disponibles en EE.UU., sobre el total de accidentes eléctricos, sólo un 20% de los accidentes se deben a choques eléctricos (de manera pura), mientras que un 80% son relámpago de arco en combinación con choques eléctricos [2]-[3]-[4]. Por a lo anterior, en Norteamérica y Europa, se comienza con el desarrollo de estudios de energía incidente relacionados a las fallas eléctricas, con el objetivo de identificar categorías de peligro/riesgo de los sistemas eléctricos [1], como complemento a las medidas de prevención ya existentes en relación al peligro de choque eléctrico. Mediante indagaciones previas [5], se ha observado que en Chile no existía desarrollo de este concepto, salvo en determinadas empresas mineras e industriales.

Por esto, se ha estudiado la accidentabilidad eléctrica de las empresas adheridas a la ACHS, durante el período 2009 a 2012, cruzando datos con otras estadísticas y estudios relacionados, con el fin de obtener un panorama completo de la realidad país, y de esta manera desarrollar estrategias focalizadas en aquellos sectores más críticos. Como resultado, se propone implementar un Programa de Seguridad Eléctrica a empresas adscritas, con evaluaciones cualitativas y cuantitativas de riesgo eléctrico, la incorporación de nuevos requisitos de seguridad en la nueva norma eléctrica que es revisada por SEC; y el desarrollo de cursos de capacitación en relación a prevención de riesgos eléctricos que incorporen los conocimientos generados en el presente estudio.

² R. H. Lee, "The other electrical Hazard: Electrical Arc Blast Burns", IEEE Transactions on Industrial Applications. [2] [3]

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Peligro de relámpago de arco (Arc Flash)

El relámpago de arco se define como la manifestación de una gran cantidad de energía que se presenta en el arco eléctrico durante un cortocircuito, cuando la corriente de falla se desplaza a través del aire (ionización del aire), entre conductores o entre conductor y tierra, lo que implica una liberación violenta de energía en forma de calor, metal fundido y/o, fragmentos a temperaturas extremadamente altas, un gran nivel de ruido y altas presiones. La temperatura de un relámpago de arco eléctrico, puede situarse en el rango de 2.000 °C a 20.000 °C [3]; lo que equivale a fundir todos los materiales conocidos, vaporizar el metal en las proximidades, quemar la piel y encender la ropa de trabajo a distancias que pueden llegar a 3 m desde la fuente de la falla eléctrica [2]. Por lo tanto, se identifica el Arc Flash como un peligro eléctrico, distinto al shock o choque eléctrico (paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano y que provoca paro cardíaco, fibrilación, tetanización, entre otras lesiones). La falla de arco en el aire, definida como el flujo de corriente que atraviesa un aislante presente entre dos conductores metálicos a diferente tensión, puede ser del tipo arco serie o arco paralelo [6]. En ambos casos, las consecuencias del arco eléctrico pueden llegar a provocar explosiones o fuego producto de la ionización del aire, con el consiguiente daño a personas y equipos. En esta situación, el arco se manifiesta como una columna gaseosa incandescente según una trayectoria aproximadamente rectilínea entre los electrodos, cuyo núcleo alcanza temperaturas de varios miles de grados centígrados (figura 1).

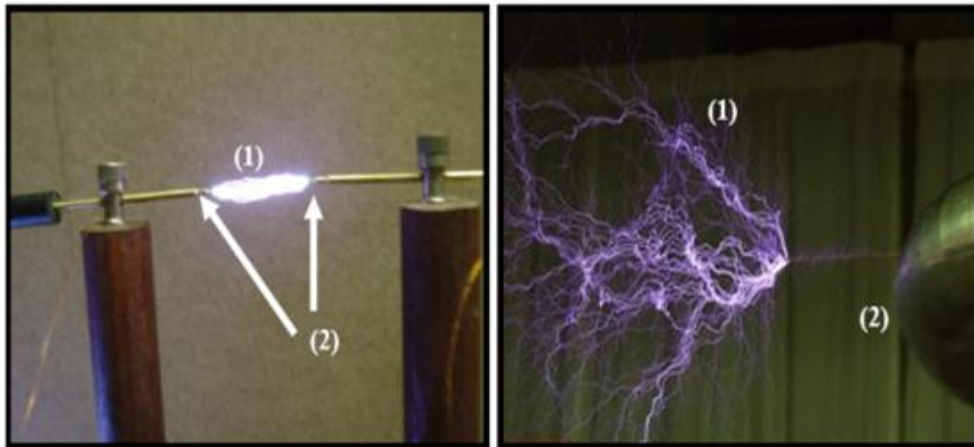


Figura 1. Zonas fundamentales de las descargas eléctricas: plasma (1) y región de electrodos (2) [6].

La energía del Arc Flash se puede generalizar y representar a través de sus efectos sobre trabajadores, usuarios comunes, equipos e instalaciones, en forma de energías: calórica, mecánica (altas presiones), luz visible, radiación

ultravioleta (UV), radiación infrarroja (IR) y ruido. La figura 2 resume las principales energías involucradas y sus efectos térmicos.

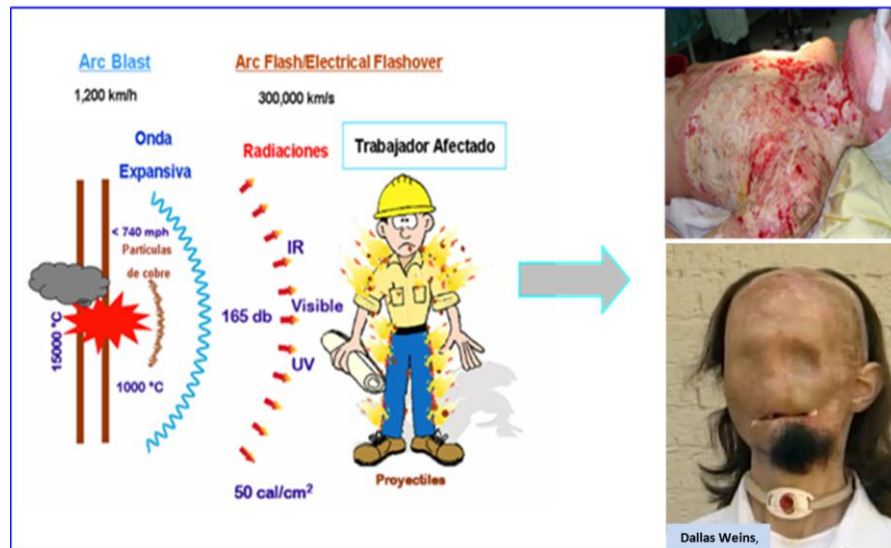


Figura 2: Principales energías involucradas en un evento de Arc Flash y lesiones por quemaduras. La fotografía corresponde a Dallas Wiens³[4].

Las lesiones mecánicas son usualmente clasificadas en categorías como lesiones por explosión, a pesar que la causa se debe al arco voltaico. A este fenómeno, se le denomina “Arc Blast” o ráfaga de arco, según la traducción al idioma español y tiene que ver con la expansión de los gases en recintos reducidos, generando una onda expansiva. La energía del arco determina la cantidad de energía incidente (energía peligrosa) y por consiguiente, el grado de lesiones esperadas en una falla eléctrica. La energía del arco será determinada por la caída de tensión del arco y la corriente del mismo. Como se señaló, la temperatura de este evento puede llegar hasta 20.000°C , siendo el daño por quemaduras el evento más común para este fenómeno [3]. Cuando la energía incidente es mayor a $1,2 \text{ cal/cm}^2$ existe la posibilidad de una quemadura de segundo grado (quemadura AB). Una caloría es la cantidad de energía requerida para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado Celsius. A modo de ejemplo, si se sostuviera el dedo por encima de la punta de una llama por un segundo, se experimentaría aproximadamente $1,2 \text{ cal/cm}^2$ de energía recibida. El Instituto para la investigación de accidentes eléctricos en Alemania [7] realizó un estudio de las partes del cuerpo afectadas por quemaduras eléctricas en el caso de trabajadores electricistas. Se evaluó 61 casos de accidentes eléctricos agudos del arco que ocurrieron en 1998 en

³ Dallas Wiens, sufrió en 2008 un accidente mientras estaba pintando una iglesia en Forth Worth, Texas. Su cara se quemó al recibir una descarga eléctrica en media tensión y en consecuencia perdió la vista y su cara quedó poco menos que reducida a una calavera. Es el primer norteamericano en recibir un trasplante de cara en 2011. http://www.brighamandwomens.org/About_BWH/publicaffairs/news/facetransplant/facetransplantwiens.aspx

Alemania. Las partes gravemente afectadas fueron las manos y cabeza incluyendo el cuello. En más de 2/3 de los accidentes la mano derecha fue dañada (fig. 3).

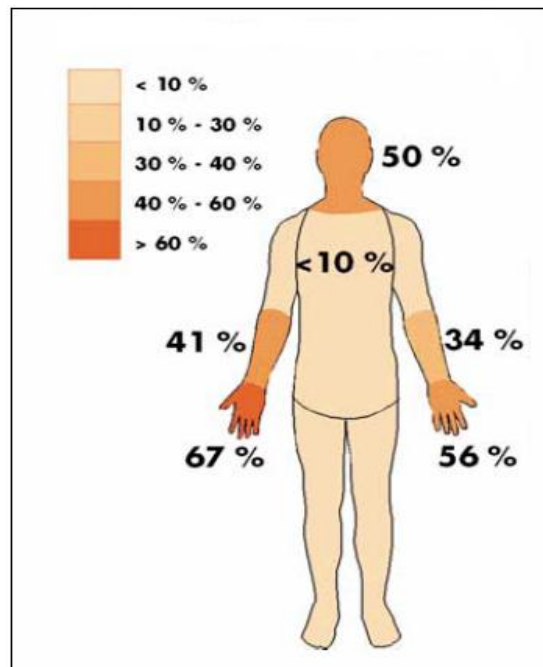


Figura 3: Distribución de las quemaduras eléctricas, en casos de accidentes eléctricos [7]

2.1.1 Parámetros eléctricos y causas de una falla por arco eléctrico

Las causas de una falla de arco, en función de variables del proceso (formación de descargas), se pueden clasificar de acuerdo a aspectos técnicos de las instalaciones (evolutivas, sobretensiones, mecánicas) o también a fallas operacionales [8].

A. Causas evolutivas. Son consecuencia de un debilitamiento progresivo de la resistencia de aislamiento entre fases o entre fases y masa. Este debilitamiento puede ser consecuencia de depósitos que, si se produce una condensación, pueden provocar la formación de un punto de resistencia superficial tal, que puede abrirse un espacio (perforación) en la superficie del aislante. La degradación progresiva del aislamiento puede deberse a un calentamiento local accidental, por ejemplo, por una mala conexión o por un aflojamiento progresivo de un borne generando un punto caliente o de alta temperatura (figura 4). La elevación de la temperatura en un punto próximo a otro defectuoso, puede inducir a la descomposición y la carbonización progresiva de los aislantes cercanos, lo que puede ser el origen a la falla de arco, inicialmente entre fases o entre fase y masa y después convertirse en

una falla trifásica. Una evaluación técnica como por ejemplo, un análisis termográfico de temperatura en los aparatos, puede evidenciar probables puntos de falla en el sistema.

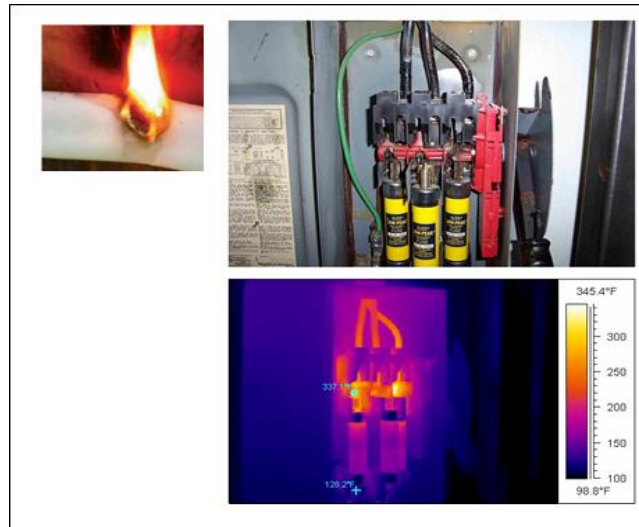


Figura 4: Prueba termográfica a equipamiento eléctrico para detectar posibles puntos calientes.

B. Causas mecánicas. Son provocadas por un elemento conductor ajeno a la propia estructura de la instalación. Dentro de estas causas existen las relacionadas a descuidos involuntarios, por ejemplo, al olvidar herramientas en cubículos intervenidos en una “parada de planta” y también a la presencia insólita de un animal en el interior de un cubículo, como en el caso de la figura 5.

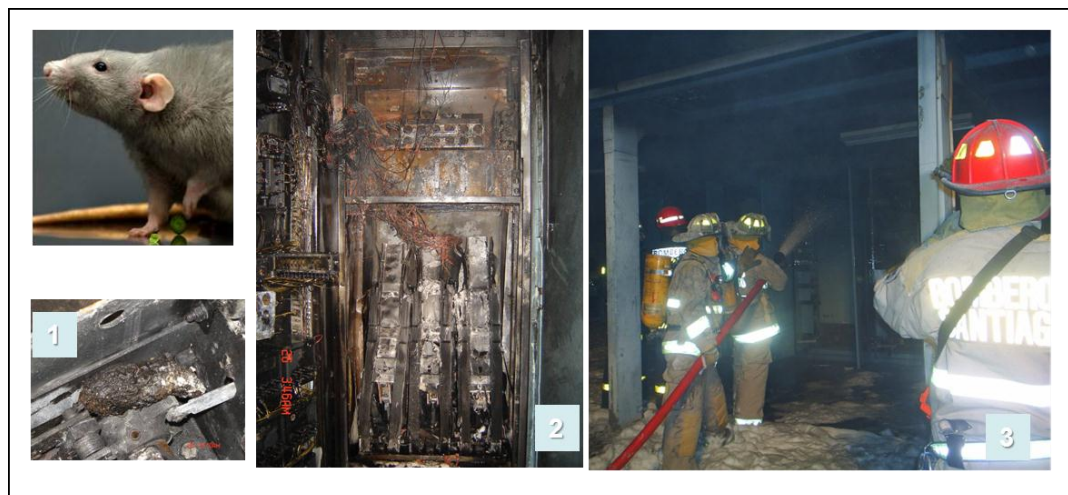


Figura 5: Incendio en S/E Eléctrica (Chile), ocasionado por roedor (foto 1) dentro de interruptor MT (foto 2), alimentador de transformador de poder. En la fotografía 3 se aprecia labores de extinción del incendio en la sala eléctrica.

C. Sobretensiones. Algunas sobretensiones de valor elevado producen descargas en equipos correctamente diseñados e instalados. En las redes de BT (baja tensión)⁴, pueden encontrarse sobretensiones que pueden alcanzar valores de 8 a 10 kV (kilo Volts; 10^3 Volts), en algunos casos provenientes de descargas atmosféricas.

D. Causas operacionales. Desde el punto de vista operacional [4], este tipo de incidente ocurre:

- Principalmente cuando las personas trabajan en o cerca de equipos que se les considera desenergizados, o sabiendo que se encuentran energizados, se produce un error o falla.
- Por errores al trabajar con circuitos energizados (“vivos”)
- El contacto accidental con partes energizadas por ejemplo, durante las operaciones de maniobras o puesta en servicio.
- El contacto accidental con los cables en excavaciones de trabajo.
- Contaminación en superficies aislantes, en labores de mantención cerca de líneas o redes energizadas.
- Errores de cableado, corrosión de las piezas y los contactos.
- Procedimientos de trabajo inadecuados.



Figura 6: Diversas fallas de sistemas eléctricos en baja y media tensión, ocasionando descargas y/o explosiones por arco eléctrico.

⁴ De acuerdo a la convención internacional y normativa vigente en Chile, la clasificación de bajo y alto voltaje se define en el límite de 1000 V. La NSEG8_75 “Electricidad Tensiones Normales para Sistemas e Instalaciones” define Baja Tensión: 0-1.000 V; Alta Tensión: > 1.000 V; Subdivisión Media Tensión: 1.000-60.000 V.

La cantidad de energía, y por consiguiente el calor, en un arco son proporcionales a la máxima disponibilidad de energía de un cortocircuito (en potencia activa) en el sistema eléctrico [3]. Los cálculos efectuados por Ralph Lee, señalan que la máxima energía del arco es igual a la mitad de potencia de falla disponible en cualquier punto dado. Investigaciones posteriores de Neal, Bingham y Doughty [9], indican que el valor real usualmente será algo diferente. Dependerá además del grado de distorsión de la forma de onda, el voltaje disponible del sistema, y del factor de potencia del arco. La misma investigación demuestra otros factores condicionantes, tales como el llamado “arc in the box” (arco en cubículos o celdas), lo que repercute en una mayor energía incidente, dado el volumen menor de disipación de la energía y los consiguientes daños a los usuarios afectados.

La energía del arco determina la cantidad de energía incidente y en consecuencia, el grado de lesiones esperadas en una falla. Esta energía será determinada por la caída de tensión y la corriente del arco. Después de la formación del arco, el voltaje del arco varía en función de su longitud; consecuentemente, la energía del arco es menos dependiente sobre el voltaje del sistema y más dependiente de la magnitud de la corriente de falla. Esto quiere decir que aunque los sistemas sean de baja tensión, poseen significativos peligros de arco y por consiguiente, representan un riesgo importante [9]. Los incidentes en niveles de voltaje de media y baja tensión pueden ocasionar quemaduras significativas. Las figuras 7 y 8 muestran los resultados de ensayos que fueron realizados con maniqués expuestos a arcos voltaicos. Para generar los valores de protección, se usa un maniquí especialmente diseñado con los sensores e instrumentos adecuados. El utilizado en el ejemplo (figura 8) posee 122 sensores (termocuplas) de calor distribuidos sobre el cuerpo. Los sensores miden el calor transmitido a través de las prendas de vestir, mientras un destello de fuego (flamazo) o un arco voltaico es aplicado al maniquí [7]. Se generan arcos eléctricos para desarrollar la evaluación ATPV (Arc Thermal Performance Value) de la ropa de trabajo. El ATPV es la asignación dada a telas, protectores faciales, uniformes y trajes para arcos eléctricos; su unidad de medida es cal/cm^2 . La recientemente aprobada definición para el método de pruebas ASTM F1959 dice que ATPV “es la energía incidente sobre una tela o material que resulte en suficiente transferencia de energía a través del espécimen bajo prueba que resulta en un 50% de probabilidades de que existan quemaduras de segundo grado”; basada en la curva Stoll⁵ [7]-[9]. De esta manera, esta condición

⁵ "Curva Stoll", desarrollada por Stoll y Chianta en los años '60, la cual indica los valores límite de energía para el comienzo de las quemaduras de piel de segundo grado como función del tiempo.

determinará el grado de protección contra relámpago de arco que representa determinado material.

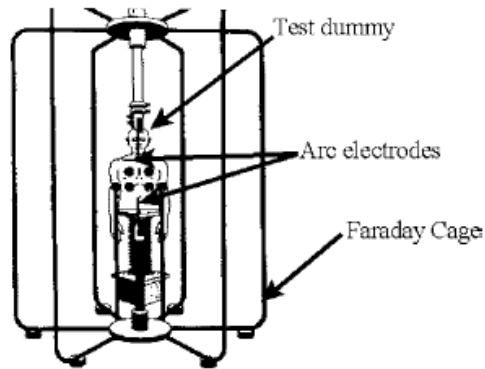


Figura 7: Jaula de Faraday para determinar ATPV, con el llamado “Termoman”, de Dupont [7]



Figura 8: Maniquí de ensayo con una chaqueta que ha sido expuesto a un ensayo en caja (Box-Test). De acuerdo a norma CEI o EN 61482⁶-1-1 y el ensayo en caja (Box-Test) según la norma IEC o EN 61482-1-2.

⁶ Norma Europea EN 61482-1-2:2007, que a su vez adopta la Norma Internacional IEC 61482-1-2:2007.. “Ropa de protección contra los peligros térmicos de un arco eléctrico”. El equivalente norteamericano es Cuando ASTM F1959 (Método estándar de prueba para determinar la protección de arco de Materiales para la ropa de trabajo). Nota: IEC, Comisión Electrotécnica Internacional por sus siglas en inglés.

Los criterios y evaluaciones de energía incidente son abordados por la Norma NFPA 70E y el estándar IEEE 1584 (Guía para cálculos de energía incidente, del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), que establece formulaciones e indicadores para el análisis de riesgo eléctrico con enfoque en relámpago de arco, determinando niveles de energía incidente, distancias de seguridad para este riesgo, entre muchos otros aspectos de seguridad eléctrica. El resumen de las fórmulas para el cálculo de energía incidente se presenta en tabla 2.

De manera general, NFPA 70E (ed. 2009) categoriza la instalación por su potencial de falla, a través de 5 valores, en función de la máxima energía incidente derivada de un cortocircuito o falla del sistema, que repercute en el grado de lesiones por quemaduras, en relación a los parámetros de falla del sistema y la distancia de trabajo, según se aprecia en tabla 1.

Tabla 1. Categoría de riesgos: HRC, según NFPA 70E [1]

Energía Incidente Calculada (cal/cm ²)	HRC (Categoría de Peligro/Riesgo)	N° Capas	Sistemas típicos de vestimenta protectora	Peso total (oz/yd ²)	Mínimo valor ATPV o EBT, Valor EPP (cal/cm ²)
0-2	0	0	Algodón no tratado	4,5 – 7	N/A
2-4	1	1	Camisa FR y Pantalones FR	4,5 – 8	5
4-8	2	2	Ropa interior de algodón + camisa FR y pantalón FR	9 – 12	8
8-25	3	3	Ropa interior de algodón más camisa FR + pantalón FR y chaqueta FR (u overol)	16 – 20	25
25-40	4	4	Ropa interior de algodón + camisa FR y pantalones FR + chaqueta y pantalones de doble capa	24 - 30	40



Figura 9: Ejemplo de categorías de Riesgo Relámpago de arco según NFPA 70E.

Tabla 2: Resumen de principales metodologías para calcular la Energía Incidente [1]-[5]

Met	Método	Fórmula	Notas
1	Ecuación Lee	$E = K \times 10^6 V I_{cc} \left(\frac{t}{D^2} \right)$	Usado en sistemas V>600 V
2	NFPA 70E	$E_{MA} = 5.271 D_A^{-1.9593} t_A (0,0016 I_{cc}^2 - 0,0076 I_{cc} + 0,8938)$ $E_{MB} = 1.038,7 D_B^{-1.4738} t_B (0,0093 I_{cc}^2 - 0,3453 I_{cc} + 5,975)$	Usado en sistemas V<600 V Ema: abierto Emb: cerrado
3	IEEE 1584, Corriente del arco, Energía normalizada y Energía Incidente	$\log_{10}(I_a) = K + 0,662 \log_{10}(I_{cc}) + 0,0966V + 0,000526G$ $+ 0,5588V \log_{10}(I_{cc}) - 0,00304G \log_{10}(I_{cc})$ $\log_{10}(I_a) = 0,00402 + 0,983 \log_{10}(I_{cc})$ $\log_{10}(En) = K1 + K2 + 1,081[\log_{10}(I_a)] + 0,0011G$ $E_n = 10^{\log_{10} E_n}$ $E = C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$	Voltaje trifásico, rango 208 a 15.000 V fase-fase Frecuencias de 50 ó 60 Hz Corriente de falla en el rango de 700 a 106.000 A
4	Cálculo de energía incidente líneas aéreas energizadas (AT y MT)	Para estimar la energía incidente, se debe multiplicar el flujo calórico correspondiente por el máximo tiempo de despeje de falla (en segundos). Tabla D.8 (1) y D.8 (2) de NFPA 70E, ed. 2009 [1].	Corrientes de corto circuito fase-tierra (monofásica)

2.2. Peligro de choque eléctrico

El choque eléctrico (también denominado shock eléctrico), es la estimulación física de una intensidad de corriente que fluye a través del cuerpo humano. Es el efecto fisiopatológico resultante del paso directo o indirecto de esta corriente eléctrica, la que dependerá de la resistencia del cuerpo, el sentido de circulación, la trayectoria, la tensión aplicada y múltiples factores biológicos involucrados (sexo, edad, condición física, enfermedades preexistentes, entre otros) [9] [10]. Los síntomas pueden incluir una sensación suave de hormigueo, contracciones violentas del músculo, arritmia cardíaca o daño a la piel. Las consecuencias del paso de la corriente por el cuerpo pueden ocasionar desde lesiones físicas secundarias (golpes, caídas, etc.), hasta la muerte por fibrilación ventricular. Se habla de “electrocución” como consecuencia del contacto eléctrico con resultado de muerte en una persona y “electrización” cuando se experimenta la descarga eléctrica en el organismo [11].

La figura 10 muestra de manera general los principales efectos de la energía eléctrica, al tomar contacto con el ser humano, referidos al choque eléctrico y relámpago de arco.

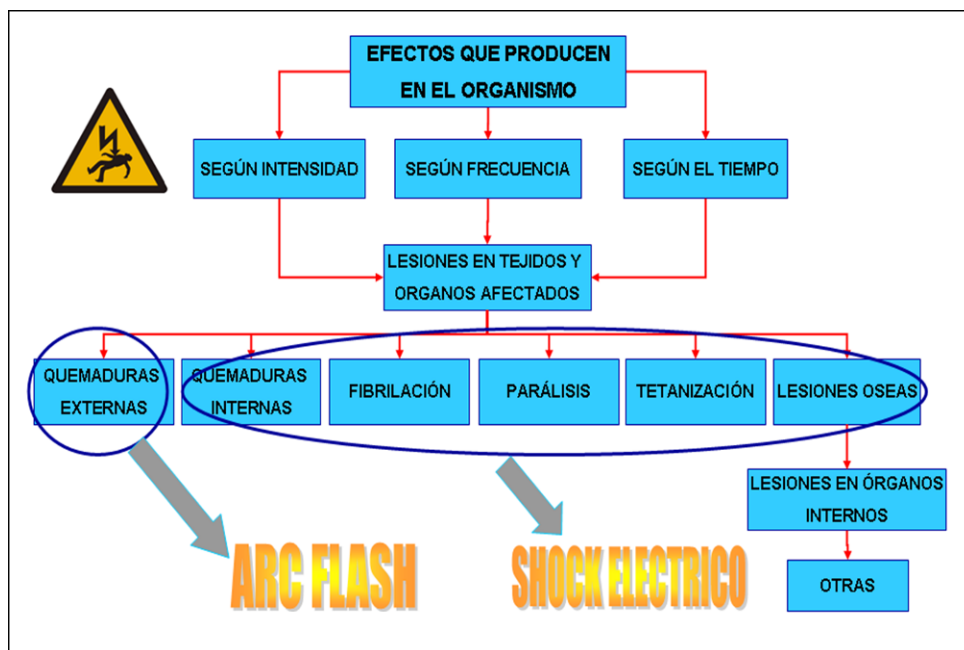


Figura 10: Cuadro de lesiones típicas por contacto con energía eléctrica [5]-[12]

2.2.1 Principales lesiones del choque eléctrico

La fibrilación ventricular consiste en el movimiento anárquico (arritmia) del corazón, el cual deja de enviar sangre a los distintos órganos y, aunque siga en movimiento, no sigue su ritmo normal de funcionamiento. En baja tensión, se señala como la lesión más grave desde el punto de vista de su recuperación inmediata [11]. En función del tiempo de contacto y otras variables, se puede ocasionar en el corazón el llamado período vulnerable, el cual afecta a una parte relativamente pequeña del ciclo cardíaco donde las fibras del corazón están en un estado no homogéneo de excitabilidad y la fibrilación ventricular se produce si ellas son excitadas por una corriente eléctrica de intensidad suficiente. Corresponde a la primera parte de la onda T en el electrocardiograma y supone aproximadamente un 10% del ciclo cardíaco completo (figura 11) [10] [12]. La figura 12 reproduce un electrocardiograma en el cual se representan los efectos de la fibrilación ventricular, indicándose las variaciones que sufre la tensión arterial cuando se produce la fibrilación. La tensión arterial experimenta una oscilación e inmediatamente decrece, en cuestión de un segundo, hacia valores mortales. Por otro lado, la tetanización se refiere al movimiento incontrolado de los músculos como consecuencia del paso de la corriente eléctrica. Dependiendo del recorrido de la corriente se pierde el control de las manos, brazos, músculos pectorales, etc. Otra consecuencia derivada de un choque eléctrico es la asfixia, la que se produce cuando el paso de la corriente afecta al centro nervioso que regula la función respiratoria, ocasionando el paro respiratorio. En alta tensión, la muerte se presenta principalmente por destrucción de los órganos o por asfixia, debido al bloqueo del sistema nervioso [12].

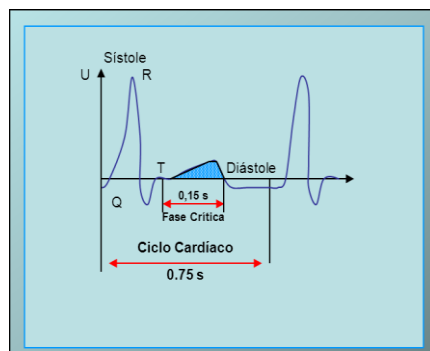


Figura 11: Período vulnerable del ciclo cardíaco [12].

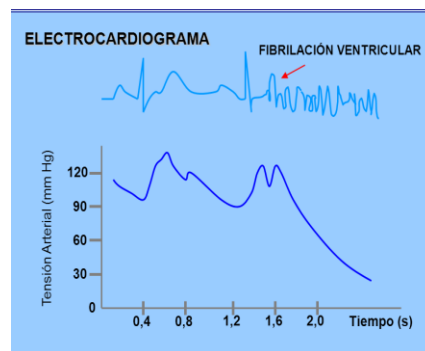


Figura 12: Efecto de la fibrilación ventricular en el electrocardiograma y en la tensión arterial [12].

2.2.2 Quemaduras Internas y Externas

Para un área superficial dada, las quemaduras electrotérmicas (quemaduras provocadas por una corriente eléctrica), son siempre más graves que otros tipos de quemaduras. Las electrotérmicas son al mismo tiempo externas e internas. La quemadura se define como una lesión tisular de carácter inflamatorio y que además puede involucrar destrucción de los tejidos en distintos grados, donde el proceso inflamatorio es constante [13]. La lesión tisular es la consecuencia de alteraciones de uno o más de los componentes celulares esenciales. Más del 90% de las quemaduras son provocadas por alzas de temperatura. El calor, en cualquiera de sus formas determina reacciones de acuerdo a su temperatura y tiempo de acción. Se clasifican en una de las tres categorías clásicas:

- **Quemaduras de primer grado.** Generan bastante dolor para las capas externas de la piel y un bajo daño permanente. La curación suele ser rápida y no deja cicatrices.
- **Quemaduras de segundo grado.** Son aquellas en que las capas superficial e intermedia de la piel están lesionadas. Aparecen ampollas y hay dolor intenso e inflamación del área afectada. La curación se produce a partir de las glándulas del sudor y/o los folículos capilares.
- **Quemaduras de tercer grado.** Destruyen completamente los centros de crecimiento de la piel. Si la quemadura es pequeña, la curación puede ocurrir a partir de los bordes del área dañada, sin embargo, extensas quemaduras de tercer grado requieren injertos de piel.

Existe otra clasificación de quemaduras con sus respectivas lesiones asociadas. Quemadura Tipo A (símil a la de 1er. Grado), Quemadura Tipo A-B (transición, 2° grado), Quemadura Tipo B (3er. Grado)⁷.

Las quemaduras internas profundas por el paso de la corriente pueden llegar a ser mortales, al afectar a órganos vitales, cuando ocurre en la parte interna del cuerpo. La gravedad de las quemaduras eléctricas se encuentra condicionada a la profundidad, extensión y localización de la misma, junto con los factores fisiológicos del afectado. La energía calórica producto de la energía eléctrica es a causa del efecto Joule. Esto es, si en un elemento circula corriente, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor, debido al choque que sufren los

⁷ Ministerio de Salud del Gobierno de Chile. Guía Clínica Gran Quemado. Minsal, 2007.
<http://web.minsal.cl/portal/url/item/7222d6a3774f3535e04001011f01482e.pdf>

electrones con las moléculas del conductor por el que circulan elevando la temperatura del mismo. El flujo de corriente a través de la piel del cuerpo humano se manifiesta como energía en forma de calor. Si una cantidad suficiente de calor es generado, el tejido se quema y/o los órganos pueden cesar sus actividades. La cantidad de calor generado es proporcional al tiempo de duración del paso de la corriente (t). A mayor tiempo de contacto, más grave puede ser la lesión.

De acuerdo a estudios de OSHA⁸, la figura 13 muestra una herida de entrada y otra de salida. La fotografía A muestra una quemadura alrededor del punto de entrada, debido a la resistencia de la piel que transforma la energía eléctrica en calor. La fotografía B muestra el punto de salida de la corriente eléctrica. El pie sufrió lesiones internas masivas que no eran evidentes, y tuvo que ser amputado algunos días después. La figura 14 muestra las lesiones sufridas por un trabajador con una herramienta eléctrica que ocasionó lesiones internas (A). La misma mano pocos días después (B), con hinchazón (se produce entre 24 y 72 horas y daña nervios y vasos sanguíneos). Para aliviar la presión, la piel del brazo fue abierta con un corte (fasciotomía). La figura 15 muestra la “momificación” de los dos primeros dedos, de una mano, los cuales se amputaron. Este trabajador se cayó y agarró un cable de energía eléctrica para sostenerse. El ángulo agudo de la muñeca fue causado por los tendones quemados, que se contrajeron.

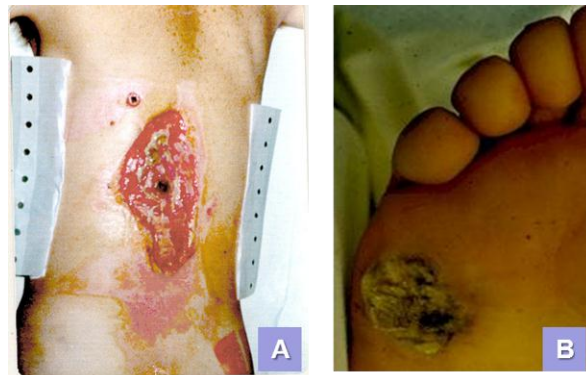


Figura 13: Efectos de la entrada y salida de la corriente eléctrica por una persona [14].

⁸ OSHA. Administración de Seguridad y Salud Laboral del Dep. del Trabajo de EE.UU [14].



Figura 14: Daños en la mano por contacto eléctrico [14].



Figura 15: Momificación y quemadura de tendones [14].

La causa más frecuente de quemaduras extensas y carbonización es generalmente la de alta tensión que puede inducir temperaturas mayores a 80°C, aproximadamente el doble del necesario para producir coagulación proteínica (proceso por el cual se forma un coágulo sanguíneo en respuesta a una lesión en un vaso sanguíneo) [16]. En alta tensión, la corriente tiende a producir parálisis del centro respiratorio sin afectar al corazón, aunque puede ocasionar un paro cardio-respiratorio. La corriente eléctrica busca el camino más corto entre el punto de contacto y tierra; en general la víctima es rechazada por el circuito eléctrico. Por lo que sufre frecuentes lesiones traumáticas (por ejemplo, efectos secundarios como fracturas y hemorragias cerebrales por caídas de distinto nivel). Las quemaduras pueden llegar a ser muy graves o mortales y en un gran número de casos, obliga a la amputación de las extremidades afectadas. Entre los factores que determinan la gravedad se encuentran la edad, sexo, superficie corporal quemada (SCQ), profundidad de las quemaduras y la presencia de injuria inhalatoria [15].

Un estudio con pacientes quemados, comparativo de causas generales y eléctricas, con una muestra de 182 pacientes, GQ (grandes quemados) adultos que ingresaron en forma consecutiva a la UPC (Unidad de pacientes críticos) del Servicio de Quemados del Hospital de Urgencia Asistencia Pública (Chile), entre septiembre 2006 y julio 2008 (Centro de Referencia Nacional del Gran Quemado Adulto), concluye que el factor quemaduras eléctricas se asocia a mayor mortalidad intrahospitalaria

[15]. Este estudio muestra que la quemadura eléctrica por alto voltaje es un factor predictor de mortalidad en GQ adultos. Si bien las cifras de mortalidad observadas en ambos grupos fueron similares, los pacientes que sufrieron quemaduras eléctricas eran hombres más jóvenes, con menos superficie quemada y con menos injuria inhalatoria que el grupo con otras etiologías. De esta forma, la mortalidad observada en el grupo de pacientes con quemaduras eléctricas por alto voltaje fue significativamente mayor a la esperada para su edad, sexo, superficie corporal quemada y proporción de injuria inhalatoria, lo que se traduce a un mayor riesgo ajustado de muerte.

En baja tensión, a menudo la quemadura es por contacto y suele localizarse en las manos o en la boca (caso de niños principalmente), pequeña en extensión superficial, pero tan profunda que puede lesionar vasos sanguíneos, tendones y nervios, hasta ocasionar graves complicaciones. Cuando en baja tensión la quemadura va asociada a un incidente de arco voltaico, el calor generado puede llegar a los 3.000°C [16].

2.2.3 Mecanismos de las quemaduras eléctricas [16].

A. Por contacto directo o quemadura eléctrica verdadera

Es causada por el paso de la corriente entre dos puntos anatómicos, de manera que el cuerpo se convierte en parte del circuito eléctrico. Se caracteriza por presentar lesiones de entrada y de salida. El daño es fundamentalmente térmico y su extensión se relaciona con la magnitud, frecuencia y duración del flujo eléctrico, con el volumen y resistencia del tejido atravesado. Al ser la resistencia elevada en el punto de contacto y con un voltaje alto, se produce calor en el sitio de contacto (efecto Joule) y el resultado es la quemadura.

B. Quemadura por arco voltaico

La corriente pasa externamente al cuerpo desde el punto de contacto hacia la tierra y la magnitud de la lesión depende de la proximidad de la piel al arco y al calor generado. Basta que la persona se acerque lo suficiente para inducir la formación de un arco eléctrico, es decir, se rompa el dieléctrico del aire circundante. La temperatura de este tipo de incidente varía entre 3.000 a 20.000°C, lo cual produce lesiones muy graves que pueden dañar toda una extremidad y obligar a una amputación. Los puntos de contacto pueden ser únicos, múltiples o difusos y con una profundidad variable.

C. Quemadura por llama

El contacto de dos conductores cargados de distinto potencial, produce un arco y llamarada (relámpago de arco), que puede provocar una quemadura o la ignición de la ropa del afectado. En este caso no hay contacto con la energía eléctrica, por lo que sólo se trata de una quemadura térmica o quemadura convencional por fuego. Cabe señalar que de todas maneras, este tipo de accidente puede ir acompañado de una onda expansiva, o cobre fundido proveniente de la falla, que también pueden provocar quemaduras o traumatismos. También puede ir asociada a quemaduras de la vía área del trabajador expuesto.

D. Quemaduras mixtas (OIT –Organización Internacional del Trabajo-) [7]-[11], provocadas por arcos, incendio y paso de corriente, es decir, de efectos combinados, habitualmente asociadas a contactos en alta tensión.

Típicamente, el efecto de choque eléctrico se relaciona con el paso de la corriente dentro del organismo, es decir, como mecanismo de quemaduras por contacto directo, mientras que el efecto del relámpago de arco (Arc Flash), generalmente se asocia a quemaduras por arco, por llamas o mixtas. La figura siguiente representa esquemáticamente cada uno de los mecanismos y su relación con los tipos de incidentes eléctricos más comunes:

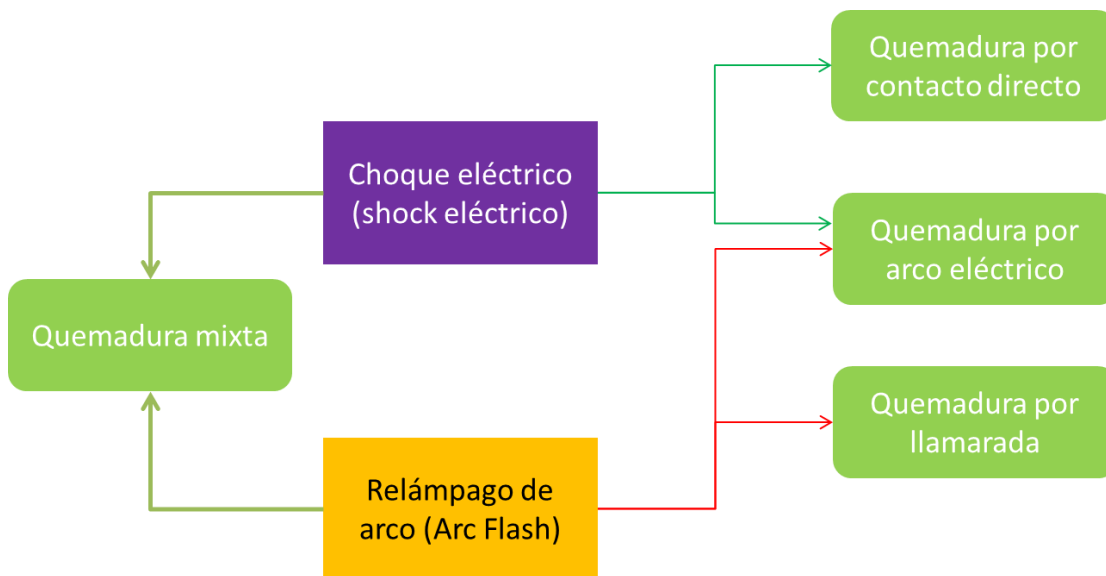


Figura 16: Clasificación de quemaduras dependiendo del tipo de contacto con energía eléctrica [7]-[11]

2.2.4 Parámetros eléctricos y su relación con el choque eléctrico

Los parámetros eléctricos (corriente, tensión, resistencia, tiempo, frecuencia) y la forma de onda son determinantes importantes de las posibles lesiones, por sí mismos y en virtud de su interacción.

Resistencia de la piel. La piel humana se comporta como una resistencia. Mientras más gruesa la capa de piel, es también mayor la resistencia eléctrica. Una persona con alta resistencia de su piel, podrá soportar de mejor forma un choque eléctrico en comparación con un niño que posee una resistencia bastante menor. También dependerá del área de contacto; por ejemplo, el mango de una herramienta. O una herida que también disminuirá este valor y la humedad de la piel, ya sea por condiciones ambientales o el propio sudor de la persona. Los estudios y normativas consideran la resistencia típica del cuerpo humano en un valor entre 2.000-2.500 ohm [10]-[17], como promedio, teniendo en consideración que es variable debido a los diversos parámetros señalados.

Intensidad de corriente. Para el paso de la corriente eléctrica en el cuerpo humano se han establecido sus umbrales de corriente. La intensidad de corriente es perceptible en niveles de 1 mA. Con intensidades de corriente relativamente bajas, la persona puede sufrir contracciones musculares que le impidan apartarse del elemento energizado. En la práctica, todos los hombres, casi todas las mujeres y niños pueden apartarse de corrientes de hasta de 6 mA. Con 10 mA, se ha observado que el 98,5 % de los hombres, el 60 % de mujeres y el 7,5 % de los niños se aparta. Con 20 mA sólo el 7,5 % de los hombres y ninguna mujer o niño se sueltan. Y la cifra se reduce a cero en todos los casos con 30 mA o más. Corrientes de unos 25 mA pueden provocar la tetanización del diafragma, el músculo respiratorio más potente [11]. La tabla 3 lista los efectos aproximados que variadas corrientes tendrán en un ser humano de 68 kilogramos. La magnitud de corriente que fluye a través del cuerpo humano obedece la relación establecida en la Ley de Ohm [9]-[12]:

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde

I : Intensidad de la corriente en amperes (A)

V : Voltaje, voltios (V)

R : Resistencia (impedancia) del camino del flujo de corriente, ohm (Ω)

Tabla 3 Efectos sobre el cuerpo humano para distintas magnitudes de [9]

Corriente (50 Hz)	Fenómeno fisiológico	Sensación o incidencia letal
0-3 mA	Umbral de percepción	Desde imperceptible hasta sensación suave.
3-10 mA	Sensación de parálisis en brazos	Imposibilidad de soltarse o ser lanzada lejos (variable según el incremento de corriente, que puede llegar a ser fatal).
10-30 mA	Parálisis respiratoria	Detención o dificultad para respirar, (frecuentemente fatal), aumento presión arterial.
30-75 mA	Umbral de fibrilación (0,5%)	Funcionamiento descoordinado del corazón (puede llegar a ser fatal), fuerte tetanización, alteraciones cardíacas.
75-250 mA	Umbral de fibrilación (99,5%)	Fibrilación ventricular, marcas visibles en la piel, fatalidad esperada.
4 A	Umbral de parálisis del corazón (no hay fibrilación)	El corazón se detiene mientras fluye la corriente. Para choques cortos, puede volver a funcionar si se interrumpe la corriente (usualmente no fatal)
>= 5 A	Quemaduras en la piel	No fatales a menos que los órganos extremadamente importantes sean dañados por quemaduras

Voltaje o tensión de contacto. Históricamente, se ha dado poca atención al efecto de la magnitud de voltaje sobre las lesiones de origen eléctrico [9]. Se presumía que una fuente 200 V podría ocasionar la misma cantidad de lesiones que una fuente 2.000 V, asumiendo que la magnitud de corriente fuera la misma. Sin embargo, los voltajes más altos pueden ser más letales por al menos dos razones:

- a. En los voltajes sobre 400 V la presión eléctrica puede ser lo suficiente como para perforar la epidermis (capa externa de la piel). Dado que la epidermis provee la única resistencia significativa al flujo de corriente, este flujo puede crecer dramáticamente.
- b. Los voltajes más altos tienen mayor probabilidad de crear arco voltaico. En este caso el arco nace en el punto energizado, pudiendo ocasionar flujo de corriente en el organismo (choque), además de las quemaduras externas (por efecto de relámpago de arco, especialmente en alta tensión).

El valor límite de la tensión de seguridad debe ser tal que aplicada al cuerpo humano, proporcione un valor de intensidad que no suponga riesgos para el individuo. La relación entre la corriente y tensión no es lineal, debido al hecho de que la impedancia del cuerpo humano varía con la tensión de contacto. Las tensiones de seguridad aceptadas por la

normativa vigente son 24V para lugares húmedos y 50V para lugares secos, siendo aplicables tanto para corriente continua como para corriente alterna de 50 Hz [17]. Cualquier nivel de voltaje en un ambiente de trabajo o en un hogar es susceptible de provocar accidentes. Hasta la electricidad estática puede provocar una explosión o incendio con consecuencias catastróficas, si las condiciones son las apropiadas para su formación.

Recorrido de la corriente e impedancia del cuerpo humano. La gravedad del accidente también dependerá del recorrido de la misma a través del cuerpo. Una trayectoria de mayor longitud tendrá, en principio, mayor resistencia y por tanto, menor intensidad; sin embargo, puede atravesar órganos vitales (corazón, pulmones, hígado, etc.) provocando lesiones mucho más graves.

2.3. Factores del entorno de trabajo

Los contactos eléctricos relacionados con el choque eléctrico se dividen en dos grupos: directos, que implican el contacto con componentes activos (conductores energizados), e indirectos, en los que los contactos tienen derivación a tierra (por ejemplo carcasas). En los lugares de trabajo, donde es común que existan líneas de alta tensión, también es posible que “salte” un arco eléctrico entre un componente activo en alta tensión y las personas que se acercan demasiado al componente (contacto por arco voltaico). Es decir, se acorta distancia y se rompe el aislamiento natural dado por el aire, pudiéndose generar un arco eléctrico y la consiguiente lesión al trabajador, ya sea por choque o relámpago de arco. Es decir, las situaciones específicas del trabajo también influyen en las consecuencias de los accidentes eléctricos. Es así que los trabajadores pueden sufrir una caída de distinto nivel, movimientos involuntarios o reacciones inesperadas. Respecto a este punto, por convención [1]-[4], las actividades eléctricas se pueden clasificar como sigue:

1. **Trabajo energizado, en líneas vivas o con tensión:** actividades que implican trabajar con conductores activos (actividad crítica si no se toman las medidas preventivas adecuadas, independiente del nivel de voltaje).
2. **Operaciones para energizar o desenergizar instalaciones:** considerada como una actividad en ambiente energizado, desde la simple operación de un interruptor domiciliario hasta la operación de un complejo sistema de maniobras de una central eléctrica para desenergizar o energizar un circuito o sistema eléctrico.

- 3. Trabajos cerca o en proximidad de conductores o instalaciones energizadas:** ambiente crítico, especialmente para personal no electricista que acorta distancia a instalaciones energizadas.
- 4. Trabajos en instalaciones desenergizadas:** condición de seguridad, siempre y cuando se respeten y se lleven a cabo rigurosos procedimientos de bloqueo de energías peligrosas o en la lógica de operar equipos en una condición eléctricamente segura, es decir, sin acceso a sus partes energizadas, equipo intrínsecamente seguro si se cumplen los estándares de seguridad proporcionados por el fabricante de acuerdo a cumplimiento normativo.

Al realizar un análisis de las causas de accidentes, se pueden plantear las medidas preventivas necesarias, clasificadas como activas o pasivas (Comisión Electrotécnica Internacional 1987; 1994 [11]). En general, las medidas pasivas son aquellas relacionadas con medidas de ingeniería de diseño y construcción, de manera que las instalaciones provean adecuados niveles de seguridad eléctrica. En este sentido, las instalaciones deben cumplir los cuerpos normativos vigentes. Esto es, protecciones diferenciales, sistemas de tierra de protección, equipos con seguridad intrínseca, entre muchos otros. Por otro lado, las medidas activas apuntan a establecer un adecuado control de peligros mediante procedimientos de trabajo seguro, mantener distancias de seguridad a conductores expuestos o la utilización de EPP (Equipos de Protección Personal) adecuados. Por ejemplo, para niveles de voltaje de líneas de distribución de 12.000 V o 23.000 V, el diseño del sistema no es del todo adecuado para satisfacer un grado de seguridad ideal para las personas (en caso de contactos accidentales), sino más bien se diseña con un alto grado de confiabilidad eléctrica, esto es el suministro permanente de energía y en adecuados niveles de tensión y calidad. En estas circunstancias, las medidas deben ser más bien enfocadas en controles activos, ya que los pasivos se orientan principalmente para baja tensión. Visto de otro modo, fundamentalmente, las medidas pasivas se orientan al usuario general de las instalaciones, y las activas, al personal electricista que debe intervenir las instalaciones eléctricas. Como medidas de protección (post-accidente), tanto, las normas como la bibliografía consultada [1]-[9]-[11]-[17], siempre recomiendan el conocimiento del personal electricista respecto a brindar los primeros auxilios y técnica de reanimación, en especial la maniobra RCP (resucitación cardio-pulmonar), para una atención oportuna del afectado.

2.4. Panorama general de accidentes de origen laboral

Cada año se producen cerca de 270 millones de accidentes laborales en el mundo. Más de 350 mil de ellos tienen consecuencias fatales⁹. La OIT estima que cada año, en el mundo, 2.2 millones de personas mueren por accidentes o enfermedades relacionadas con su actividad laboral. A mediados del siglo pasado, en Chile se producía un accidente de trabajo cada 27 segundos, lo que equivalía a una tasa de accidentalidad de un 32%. El año 2009 esta cifra alcanzó el 5,3% anual [18]. El descenso paulatino en las tasas de accidentes queda reflejado en la figura 17. Influye sobre esta tendencia la adopción de nuevas tecnologías de producción, con mayores componentes electrónicos y menos componentes mecánicos; el aumento de participación relativa del sector servicios en la economía (que tiene menores tasas de accidentes: 3,8% vs 5,3% que es el promedio nacional); la mayor educación promedio de la fuerza laboral; la adopción por parte de empresas exportadoras con estándares de Seguridad y Salud en el trabajo que exigen los compradores internacionales; y la adopción por parte de filiales de empresas internacionales que operan en Chile de los estándares de sus empresas matrices. Por otro lado, la tasa de fatalidad muestra una débil tendencia de disminución, encontrándose en un valor de 6,8 por 100.000 trabajadores, sustancialmente inferior al promedio mundial (17,5) y la de países de la Región (Argentina, Brasil, Colombia), pero superior a países desarrollados como España, Italia Estados Unidos, Francia y Alemania (figura 18). El año 2009, las fatalidades de origen laboral en Chile ascendieron a 298 [18].

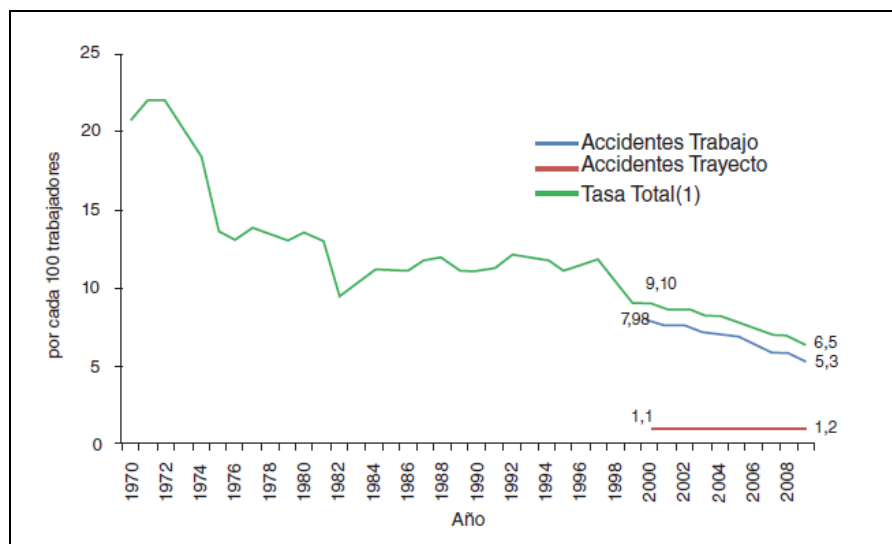


Figura 17: Evolución tasa de Accidentabilidad Mutuales Chile (1970-2009) [18]. Nota: Incluye accidentes del trayecto. No incluye ISL. ACHS sólo a partir de 1996.

⁹ ISSN 0718-0306 versión impresa, ISSN 0718-2449 versión en línea. Revista Ciencia & Trabajo, de la Asociación Chilena de Seguridad

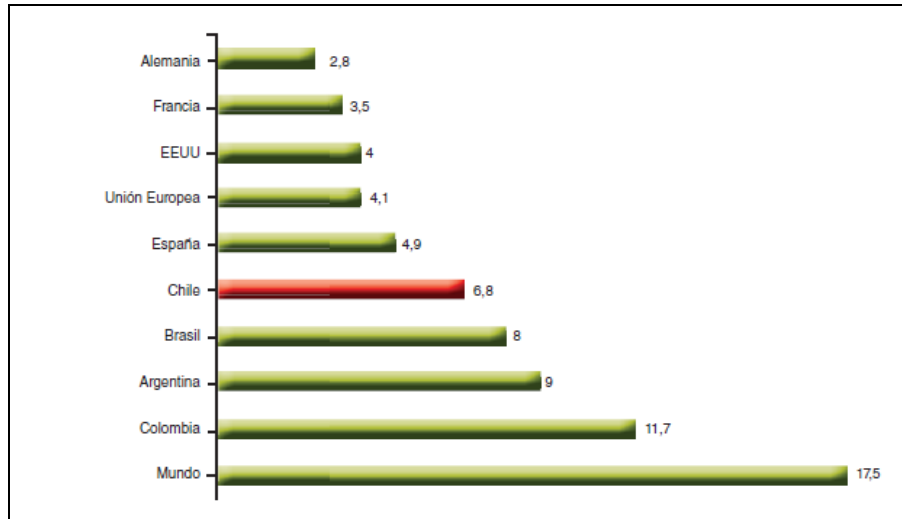


Figura 18: Tasa de mortalidad (por cada 100.000 trabajadores) – comparación internacional (2006) [18]

2.5. Desglose de estadísticas de accidentes eléctricos en Estados Unidos

Recoger estadísticas de Estados Unidos, es una forma de apreciar tendencias respecto a las causas de accidentes eléctricos. Este país cuenta con variadas instituciones y organizaciones que desempeñan un papel investigativo importante y nos entregan orientaciones sobre el comportamiento de los accidentes y la forma de prevenirlos. Basado en los datos de NIOSH -Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional- (NTOF Departamento Nacional de Fatalidades Ocupacionales Traumáticas, por sus siglas en inglés), las electrocuciones representaron la quinta causa de muerte entre los años 1980 y 1992 en EE.UU. Las 5.348 muertes causadas por la electricidad representaron el 7% de todas las fatalidades con un promedio de 411 muertes por año [30]. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés), entrega directrices para el control de peligros eléctricos a través del Estándar General de Seguridad y Salud de la Industria (Sub-part S 29 CFR 1910.302 a través de 1910.399). Estos estándares contienen requisitos que se aplican a todas las instalaciones eléctricas y equipos eléctricos, sin tener en cuenta cuándo fueron diseñados o instalados. El estándar Sub-part K 29 CFR 1926.402 a través de 1926.408, de los estándares de OSHA para la construcción, contiene requisitos de seguridad para las instalaciones y equipos eléctricos, así como para las instalaciones definitivas y provisionales para abastecer de energía los lugares de trabajo. Adicionalmente, el Código Eléctrico Nacional (NEC) y el Código Eléctrico Nacional de Seguridad (NESC), proponen exhaustivos

estándares de seguridad eléctrica [9]. Este último se refiere principalmente a los estándares en sistemas de generación, transmisión y distribución eléctrica.

De acuerdo al estudio desprendido de ESFI [29], para el período 1992-2010 en EE.UU., las industrias con el porcentaje más alto de fatalidades eléctricas fueron construcción (52%); servicios profesionales de negocios (13%); transporte y energía (11%), minería y recursos naturales (9%), industria manufacturera (8%) y 6% para las restantes. En orden decreciente, las principales fuentes de causas de accidentes eléctricos se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 4: Distribución principales causas de accidentes eléctricos en EE.UU. (1992-2010). Fuente ESFI [29]

	Tipo de accidente	Accidentes eléctricos fatales (%)
1	Contacto con líneas aéreas	44
2	Contacto con cables, transformadores, otros	27
3	Contacto con equipos y herramientas en mantenimiento electromecánico	17
4	Otros	12

Contacto con líneas aéreas: representaron la fuente de un 44% de los casos fatales. La figura siguiente (fig. 19) ilustra la exposición típica a peligros eléctricos con grúas (o camiones pluma). En este caso, una persona al hacer contacto con el chasis pasa a formar parte del circuito, si la pluma toca la línea energizada, es decir, queda sometido a la tensión de contacto, con las consiguientes lesiones asociadas. Este hallazgo sólo enfatiza la importancia de capacitar a los trabajadores en cuanto a tomar precauciones cuando se trabaja de manera contigua a líneas de energizadas en su entorno de trabajo. Comúnmente, estos accidentes son fatales o graves. Esta condición es similar para otros equipamientos, como andamios por ejemplo.

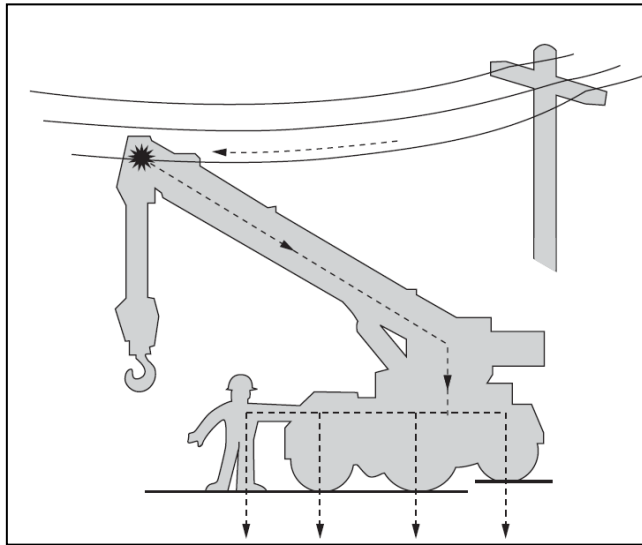


Figura 19: Típico contacto eléctrico con el chasis de camiones pluma o grúas que hacen contacto con líneas eléctricas de Media y Alta Tensión [9].

Contacto con equipos eléctricos (cables, transformadores, otros): Este es el tipo de accidente que ocurre comúnmente a personal cuyo trabajo habitual consiste en trabajar con equipos eléctricos, ya sea en generación, transmisión o distribución eléctrica. Esta categoría representa el 27% de las fatalidades eléctricas.

Contacto con equipos/herramientas: es la tercera categoría de las fatalidades eléctricas que involucra a trabajadores que entran en contacto con energía eléctrica que alimenta máquinas, herramientas, aparatos o artefactos de iluminación. Este tipo de accidentes ocurre con más frecuencia a los trabajadores cuyo trabajo incluye tareas de mantenimiento electromecánico. Los accidentes por contacto eléctrico (shock), debido al contacto con herramientas y aparatos cuyos conductores a tierra fueron defectuosos o retirados estarían incluidos en esta categoría. Este tipo de accidentes representaron el 17% de todas las fatalidades eléctricas.

Otro análisis, realizado por FACE (Valoración de Fatalidades Evaluación y Control, por sus siglas en inglés), programa dirigido por NIOSH, investigó 224 incidentes, que resultaron en 244 fatalidades en el período entre 1982 y 1994 [30]. Dentro de las especialidades más afectadas se encuentran los llamados “linieros”, personal que comúnmente trabaja en redes aéreas, quienes generalmente reciben entrenamientos en seguridad eléctrica y los peligros relacionados con líneas eléctricas. Le siguen los “laborers”, que en la realidad chilena serían los ayudantes y personal no especialista eléctrico, quienes reciben poco o nada de entrenamiento/capacitación en seguridad eléctrica (figura 20).

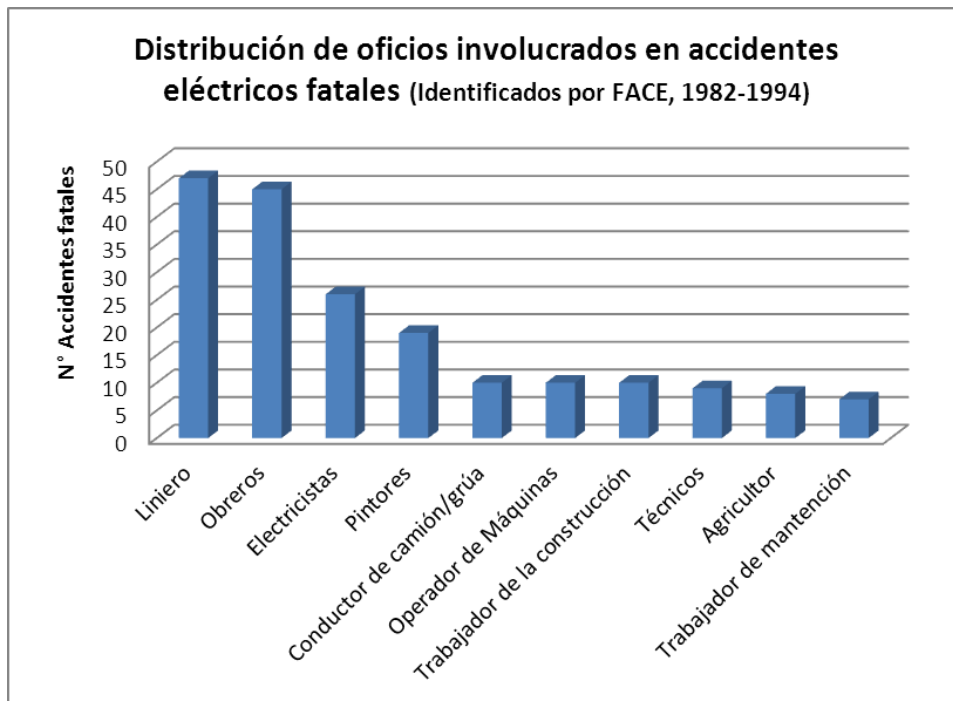


Figura 20: Distribución de oficios afectados por accidentes eléctricos en EEUU, años 1982-1994. Fuente NIOSH [30]

2.6. Antecedentes de incendios de origen eléctrico

2.6.1 Realidad Nacional

De acuerdo a las cifras oficiales de la Junta Nacional de Bomberos de Chile [33], en su anuario del año 2012, se produjeron en Chile 14.824 incendios en viviendas, 591 incendios en estructuras industriales y 1.033 en otras estructuras. Esto arroja un resultado total de 16.448 siniestros. Según el informe de Investigación de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) [32], con datos aportados por Bomberos de Chile, anualmente se producen 3.000 incendios por causas eléctricas. Por lo

tanto, se tiene estimativamente un porcentaje de incendios eléctricos sobre un 18% respecto al total. Complementario a lo anterior, se obtuvieron los datos de incendios entre los años 2010 al 2012, del Cuerpo de Bomberos de Puente Alto-Pirque (CBPA)[34], localidad representativa de un 9% de la población de la región metropolitana, de acuerdo al Censo 2012, siendo Puente Alto la comuna más poblada de Chile con 586.309 habitantes residentes. La información de los siniestros, compilada para los 3 años de estudio (figura 21), arroja una distribución porcentual promedio aproximada de un 21% de incendios de origen eléctrico respecto al total (figura 22).

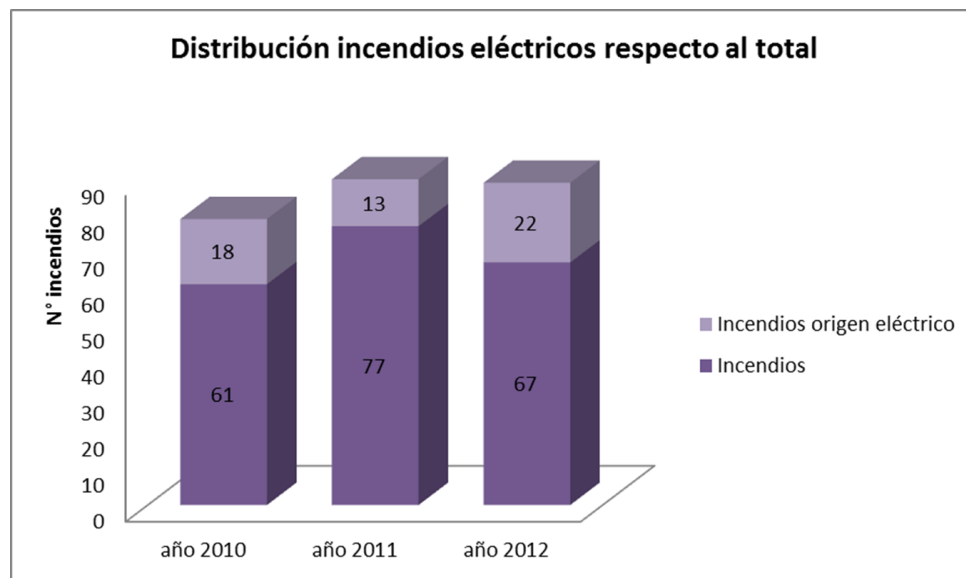


Figura 21: Distribución de incendios, incluyendo los de origen eléctrico, CBPA, años 2010-2012 [34].

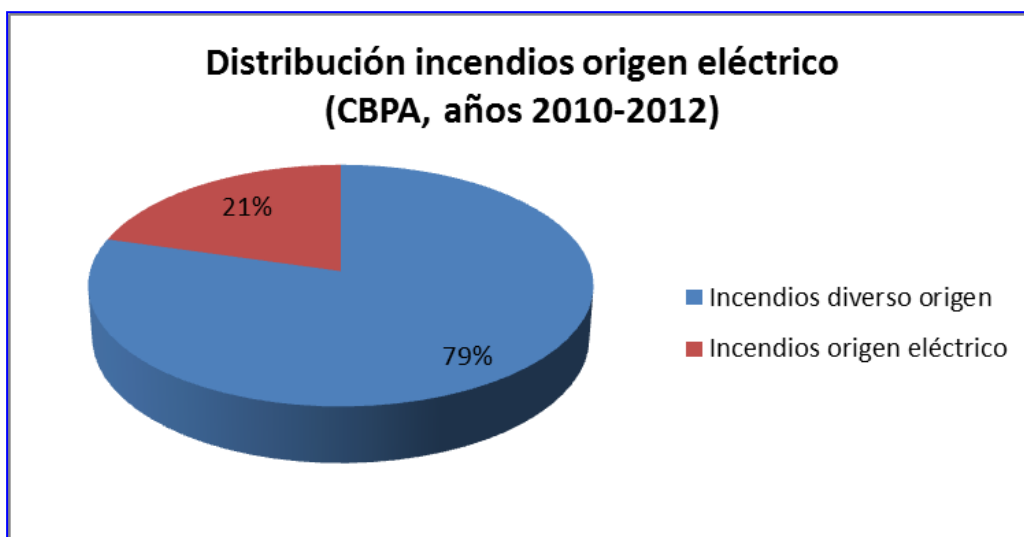


Figura 22: Porcentaje acumulado (año 2010-2012) de incendios de origen eléctrico respecto al total en CBPA [34]

2.6.2 Panorama internacional

Cada año, los incendios por causas eléctricas en los hogares provocan la muerte de 350 personas en los Estados Unidos y dejan otros 1.000 lesionados¹⁰. La cocina es la fuente principal de los incendios residenciales, seguida por los equipos de calefacción, iluminación y distribución eléctrica (instalaciones fijas). Parte de estos incendios son provocados por fallas en el sistema eléctrico y defectos en los electrodomésticos, otros son provocados por el mal uso y mantenimiento deficiente de los electrodomésticos, cableado instalado incorrectamente, circuitos y cables de extensión sobrecargados. Durante un año común, 8.000 incendios y US\$1.000 millones en daños materiales. El cableado eléctrico de las casas provoca el doble de incendios que los electrodomésticos. De acuerdo a USFA-FEMA, la mayoría de los incendios eléctricos son consecuencia de problemas con la "instalación eléctrica fija", como enchufes defectuosos y cables "viejos" (sobrepasan su vida útil). De acuerdo a lo señalado en la revista NFPA Journal¹¹, en Estados Unidos el 80% de las muertes, ocurren por incendios en el hogar. Sin embargo, los incendios residenciales no ocasionan más del 50% del total de los daños a la propiedad. Los incendios

¹⁰ Administración de Incendios de Estados Unidos, USFA, organismo dependiente de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) del Departamento de Seguridad Nacional. <http://www.usfa.fema.gov/>

¹¹ NFPA (National Fire Protection Association) es una organización creada en Estados Unidos, encargada de crear y mantener las normas y requisitos mínimos para la prevención contra incendio, capacitación, instalación y uso de medios de protección contra incendio. <http://nfpajla.org/>

en grandes construcciones y en la industria, aunque no causan un número estadísticamente significativo de muertes, tienen un costo desproporcionadamente alto. Respecto a la distribución porcentual (figura 23), los incendios de origen industrial por fallas eléctricas en instalaciones fijas en EE.UU. representan un 12% aproximado [35]. Al añadir y extrapolar los datos a los aparatos electrodomésticos, aire acondicionado y de calefacción, se estima entonces que las causas de origen eléctrico representan alrededor del 20% de los casos.

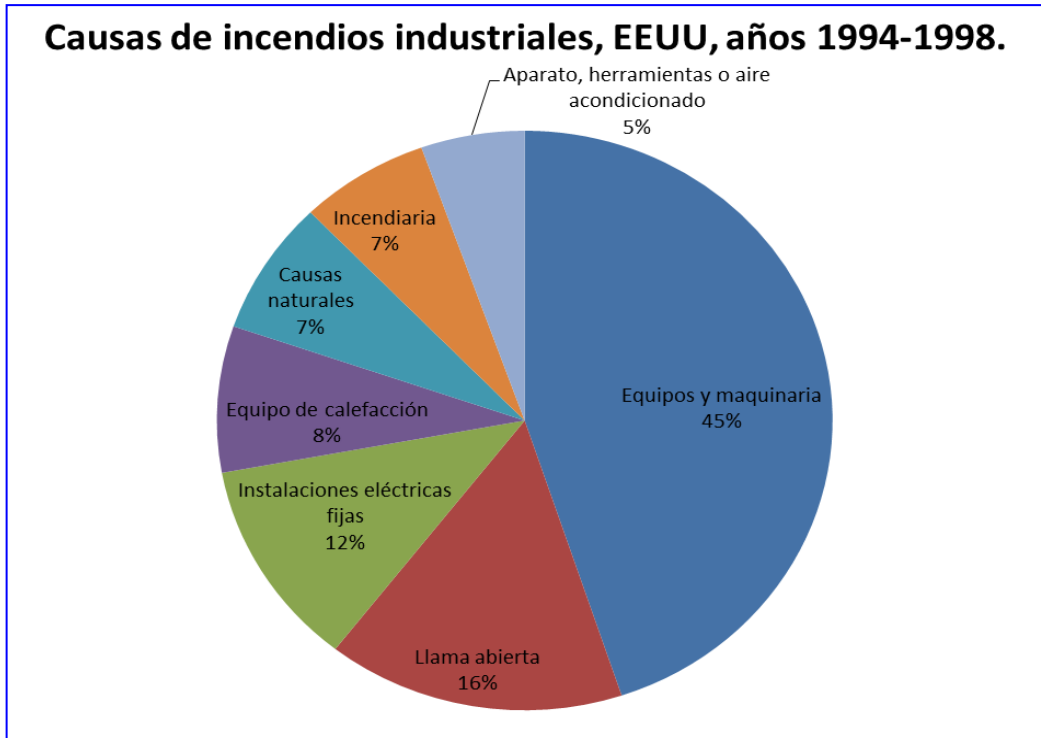


Figura 23: Distribución de causas de incendios industriales [35].

De acuerdo a los datos de PRIE en España¹², el mal estado de las instalaciones eléctricas es la principal causa de incendios y electrocuciones en el hogar. Las estadísticas del año 2003 reflejan cifras de 7.300 incendios anuales por causas eléctricas, 4.850 accidentes por descargas de corriente eléctrica, más de 1.500 heridos graves y una media de 150 muertos por accidentes eléctricos. En este país, de acuerdo a las estadísticas de los entes de seguridad laboral [36], aproximadamente el 87% de los incendios industriales son causados por 11 fuentes de ignición:

¹² La Plataforma para la Revisión de las Instalaciones Eléctricas (PRIE) es una agrupación nacional de España, de asociaciones y federaciones sin fines de lucro que operan en el sector eléctrico, cuyo objetivo es desarrollar un programa de actuación que contribuya al descenso del elevado número de accidentes eléctricos que cada año se producen en España, a causa del mal estado de las instalaciones eléctricas domésticas. <http://www.plataformaprie.com/>

Tabla 5: Fuentes de ignición incendios industriales en España. [36]

FUENTE DE IGNICIÓN	PORCENTAJE SOBRE EL TOTAL
Incendios eléctricos	19%
Roces y fricciones	14%
Chispas mecánicas	12%
Fumar y fósforos	8%
Ignición espontánea	7%
Superficies calientes	7%
Chispas de combustión	6%
Llamas abiertas	5%
Soldadura y corte	4%
Materiales recalentados	3%
Electricidad estática	2%

En conclusión, de acuerdo a las fuentes consultadas, se tiene un orden del 20% de incendios de origen eléctrico. Ahora bien, es importante señalar que tanto la estadística de EE.UU. como la española, representan grandes incendios, principalmente industriales. Este dato, adicionalmente a las deficiencias normativas indicadas por SEC en su estudio [32], hace presumir que esta cifra de un 20% puede ser aún mayor considerando los incendios de tipo domiciliario.

2.6.3 Origen y causa de incendios eléctricos

La investigación de los incendios en EE.UU., principalmente a través de instituciones como NFPA y la IAEI¹³[37], dan cuenta que el origen de estos incendios se puede sub-clasificar de acuerdo a los aparatos involucrados. Sin embargo, se limita principalmente a incendios derivados de fallas por cortocircuito, fallas de conexión a tierra, y por sobrecalentamiento de conductores. Se reconoce que pueden existir errores de inclusión o exclusión de otro tipo de fallas. De acuerdo a lo mostrado en las figuras 24 y 25, se puede apreciar que, aproximadamente un 48% corresponde a fallas en las instalaciones fijas y los componentes más comunes donde se produce la falla son los conductores eléctricos.

¹³ Asociación Internacional de Inspectores Eléctricos (IAEI, por su sigla en idioma inglés), EE.UU. desde 1928, ha promovido activamente productos e instalaciones eléctricas seguras. Los socios incluyen diversos grupos, incluidos los inspectores eléctricos, agencias de ensayos y pruebas, organizaciones de normalización, fabricantes, distribuidores, instaladores y contratistas.

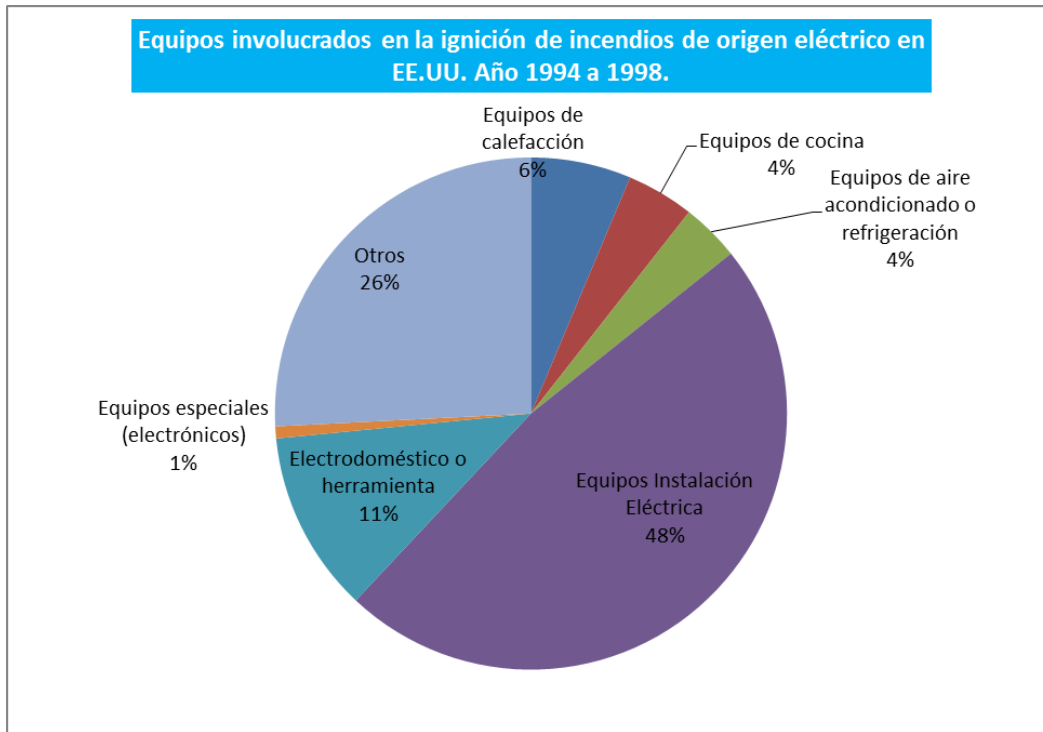


Figura 24: Equipos involucrados en la ignición de incendios eléctricos [35].

Estas cifras dan cuenta que una parte importante de las instalaciones no cumple con las exigencias de la normativa eléctrica vigente. Por ejemplo, realizar instalaciones sin dimensionar adecuadamente las cargas o agregar otras sobrepasando la potencia instalada, generan un riesgo crítico en la instalación. También es de importancia el no dimensionar adecuadamente los conductores y las protecciones que deben protegerlos. La falta de mantenimiento y utilizar equipos defectuosos va a generar un número importante de fallas que pueden terminar en igniciones por esta causa. Cuando se abre el abanico de causas derivadas por fallas en la instalación eléctrica, el cableado, las instalaciones de luminarias, interruptores, enchufes fijos y volantes, pasan a constituir fuentes comunes de ignición en incendios de origen eléctrico [35]. Principalmente, muchas de éstas son debidas al uso incorrecto de los artefactos, el uso de extensiones eléctricas y la sobrecarga de las mismas.

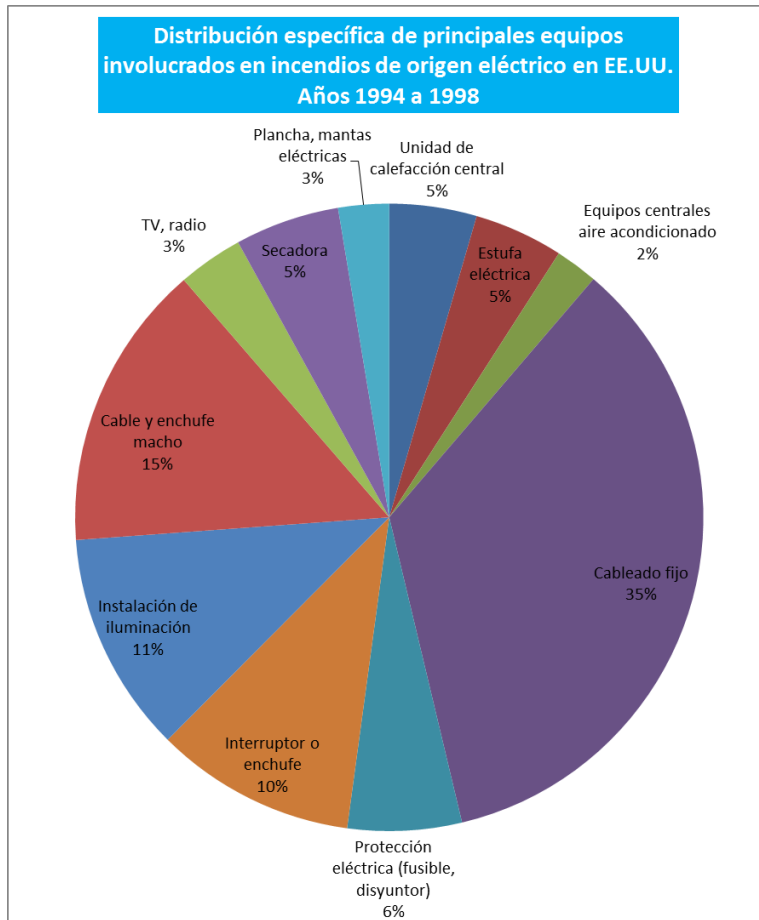


Figura 25: Principales equipos involucrados en incendios de origen eléctrico [35].

2.6.4 Tipos de fallas que causan incendios y accidentes de origen eléctrico

Como se puede apreciar, las fallas eléctricas son responsables de un número importante de incendios de estructuras residenciales e industriales. Los sistemas eléctricos están diseñados para utilizar eficientemente la energía eléctrica, la que normalmente se convierte en calor, luz y movimiento. Si existe una condición de falla en un sistema de distribución eléctrica, parte de la energía eléctrica se pierde en forma de calor, éste se acumula en las cajas de conexiones y en el aislamiento. A través del tiempo, el exceso de calor degrada los componentes del cableado y tanto la aislación como los combustibles adyacentes pueden combustionarse. De acuerdo a la norma NFPA 921, “Guía para la investigación de fuego y explosiones” [38], la electricidad provoca un exceso de calor que se traduce en fuego, a partir de dos causas principales: un arco eléctrico y las fallas de tipo resistivas. Si la detección

de fallas se produce antes del encendido de materiales inflamables, el fuego puede prevenirse mediante la interrupción de la corriente que alimenta dichos circuitos.



Figura 26: Deformación causada en una regleta de plástico como consecuencia de una falla de tipo resistiva, por mal contacto entre conductores y regleta [6].

Para el caso de las fallas por arco eléctrico, este fenómeno se define como el flujo de corriente que atraviesa un aislante presente entre dos conductores metálicos a diferente tensión [6]. Existen dos tipos principales de arcos eléctricos: los arcos serie y los arcos paralelos. En ambos tipos las consecuencias del arco eléctrico pueden llegar a provocar explosiones o fuego, con el consiguiente daño a personas y equipos. Aunque una protección estándar como un disyuntor termo-magnético provee protección contra cortocircuitos y sobrecargas, una protección diferencial provee protección para las personas contra los efectos de un shock eléctrico, éstas no entregan protección contra riesgos potenciales de incendio, que pueden resultar de fallas de arco de bajo nivel [37]. Una de las problemáticas de este fenómeno es que las corrientes de arco, generalmente, son menores a las corrientes de cortocircuito, las cuáles sí podrían ser detectados por una protección convencional [39]. En los voltajes bajo 1.000 V, este fenómeno se acentúa, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Ejemplo de corrientes de falla franca a tierra VS corrientes de arco por niveles de voltaje. [39].

Voltaje (kV)	Corriente falla (franca a tierra) (kA)	Corriente de arco* (kA)	% I _{arco} respecto a I _{falla}
0,208	10	4,35	43%
	20	7,08	35%
	30	9,41	31%
	40	11,51	29%
	50	13,47	27%
0,48	10	6,56	66%
	20	11,85	59%
	30	16,76	56%
	40	21,43	54%
	50	25,93	52%
0,6	10	7,86	79%
	20	14,88	74%
	30	21,62	72%
	40	28,19	70%
	50	34,62	69%
1 hasta 15	10	9,71	97%
	20	19,18	96%
	30	28,58	95%
	40	37,92	95%
	50	47,22	94%

* La corriente de arco fue calculada con ecuaciones del estándar IEEE 1584/2004. Configuración en "gabinete", 25 mm distancia entre conductores, sistema sólidamente conectado a tierra.

La tabla 7 resume la información de las principales fallas y subcategoriza las causas asociadas a éstas según la norma NFPA 921 [38] donde se establece el respectivo alcance. Un informe de la IAEL [37], representado en la figura 27, indica que el 29% de los incendios de origen eléctrico desde 2002 hasta 2007 fueron causados por fallas producto del arco eléctrico y el 40% por calentamiento producto de malos contactos eléctricos. En el 19% de los incendios, la evidencia no fue suficientemente clara o pudo haber sido destruida (categoría de "desconocido"). En el 12% de los incendios, la ignición se produjo en forma directa (por ejemplo, una caja de cartón a un costado de un calentador eléctrico). No considerando las causas "directas" y ponderando las causas "desconocidas", se podría extrapolar la causa de arco a un 42% y las de calentamiento por resistencia al restante 58% de todas las igniciones que causan incendios eléctricos, las cuales pueden prevenirse con el uso de tecnología adecuada.

Tabla 7. Fallas principales y causas de ignición de incendios eléctricos, sección NFPA 921. [38].

	CAUSA DE IGNICIÓN	SECCIÓN DE NFPA 921
ARCO	Arco de Alto Voltaje	8.9.4.2
	Estática (ignición de polvo y gases)	8.9.4.3
	Arco de cierre (serie)	8.9.4.4
	Arco superficial (partes carbonizadas) (paralelo)	8.9.4.5
	Chispas (paralelo, alta corriente)	8.9.5 8.10.2
CALENTAMIENTO POR RESISTENCIA	Cortocircuito	8.11.9
	Circuito sobrecargado	8.9.3
	Sobrecarga en equipos	8.10.5
	Conexiones deficientes	8.9.2.3
	Falla de alta resistencia	8.9.6
	Apertura de neutro	8.5

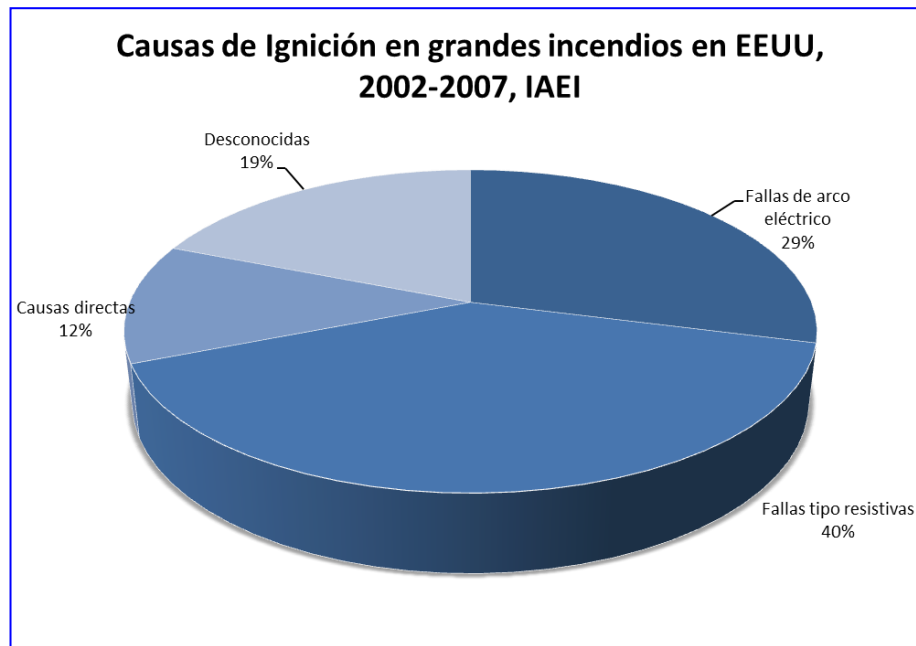


Figura 27: Causas de ignición de grandes incendios EE.UU. [37]

La figura N° 28, basada en estadísticas de IAEI desglosa las principales fallas de tipo resistivas. Por ejemplo; las malas conexiones causan el 34% de las igniciones, la sobrecarga de equipos y circuitos representan un 40% de las igniciones. La sobrecarga de circuitos, se refiere a las instalaciones fijas, mientras que la sobrecarga de equipos, representa tanto los conductores de alimentación, como las fallas en circuitos internos de los aparatos que se conectan a las instalaciones fijas, incluyendo también las extensiones eléctricas.

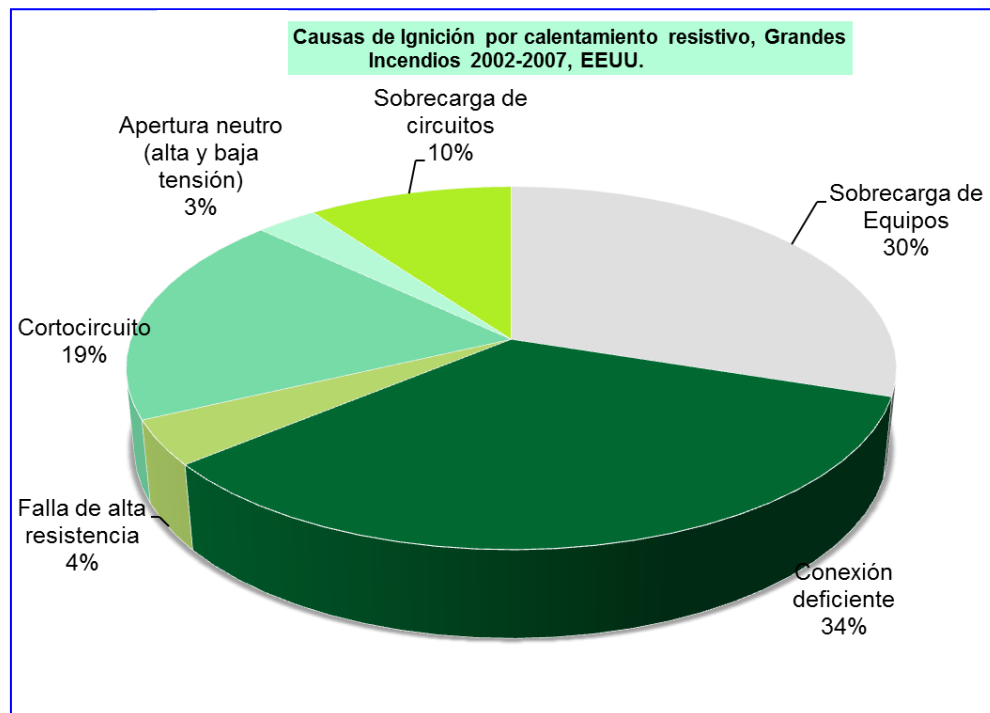


Figura 28: Causas de ignición por calentamiento resistivo por mal contacto eléctrico, de grandes incendios EE.UU. [37]

En los sistemas con potencias mayores, tales como transformadores de poder, interruptores de potencia, centro de control de motores (CCM), celdas de media tensión, entre otros, las fallas de arco se presentan con niveles de energía muy altos y en donde eventualmente una falla puede ser detectada por la protección eléctrica respectiva. Sin embargo, si esto no ocurre, el nivel de energía es tal, que puede provocar lesiones gravísimas al operario que sufre las consecuencias de esta falla. Esto es lo que se denomina energía incidente del arco eléctrico o fenómeno de relámpago de arco, que se ha tratado en el marco teórico.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos Generales

1. Caracterizar el fenómeno de accidente por arco eléctrico (relámpago de arco o arc flash) y sus medidas de control.
2. Entregar lineamientos para implementar un Programa de Seguridad Eléctrica, para su aplicación en empresas, que incluya metodología de identificación de peligros eléctricos y evaluación de riesgos; medidas de control y capacitación.

3.2 Objetivos específicos

1. Identificar, cuantificar y escribir los accidentes eléctricos en empresas adheridas a la ACHS, en el período 2009 a 2012.
2. Analizar el cumplimiento de la normativa eléctrica (fiscalización), tipo de instalaciones y fallas más comunes donde ocurren accidentes eléctricos graves, según datos nacionales disponibles en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).
3. Determinar causas de los accidentes eléctricos y medidas de control factibles de implementar por las empresas.
4. Proponer herramientas para identificar y evaluar peligros eléctricos.
5. Proponer objetivos y contenidos para programas de capacitación con enfoque en NFPA 70E y categoría de peligros/riesgo eléctrico.

3.3 Hipótesis

- A nivel país no se diseñan estrategias integrales específicas para el control de peligros eléctricos en los ambientes de trabajo
- Las empresas, en general, no reconocen el peligro eléctrico relacionado con las fallas de arco eléctrico (Arc Flash) y su especial tratamiento en cuanto a prevención de riesgos, estándares de seguridad eléctrica y medidas de control. Por consiguiente, no llevan a cabo Programas de Seguridad Eléctrica para controlar estos peligros específicos.
- Un gran número de Expertos en Prevención de Riesgos, no poseen el conocimiento técnico necesario para dar soporte en materia de seguridad eléctrica. Esto influye en evaluaciones de riesgo eléctrico deficientes que no abordan los controles de peligro eléctrico adecuadamente.

4. METODOLOGÍA

El método de investigación se ha centrado principalmente en recopilación bibliográfica, análisis estadístico, participación en mesas de trabajo (tripartitas) con representantes de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), instituciones como la Asociación de la Industria Eléctrica-Electrónica (AIE), además de la experiencia de empresas donde se han realizado asesorías. La revisión bibliográfica de los conceptos de seguridad eléctrica como marco de referencia, se focaliza en normativas de EE.UU. y normas IEC, entre las cuales se destaca NFPA 70E. Primeramente, se realizó un levantamiento general de los accidentes eléctricos a nivel país y una comparación de tasas respecto a países desarrollados. Luego, el análisis se concentró en los accidentes eléctricos de origen laboral, tendencias y su representatividad respecto al universo, a partir de base de accidentes en empresas adheridas a la ACHS. A partir de los registros generales de accidentes de la ACHS, bases de datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), SEC, SUSESO, estadísticas extranjeras de OSHA, la Oficina Internacional del Trabajo (OIT), la Unión Europea (UE), la Asociación Internacional de la Seguridad Social (AISS) y el Comité TC64 de la Comisión Electrotécnica Internacional, además del análisis de múltiples documentos del área de salud referidos esencialmente a lesiones por quemaduras, se entrega un panorama general de nuestra realidad país, respecto a los accidentes de origen eléctrico y así sugerir y orientar las medidas de control de riesgos eléctricos prioritarias, en la figura de un Programa de Seguridad Eléctrica.

Luego se realizó un estudio parcial del registro y monitoreo de los accidentes del trabajo (análisis de accidentes por contacto con energía eléctrica), entendidos como “toda lesión que una persona sufra a causa o con ocasión del trabajo, y que produzca incapacidad o muerte” según artículo 5° de la Ley 16.744. Este análisis estadístico permite facilitar el conocimiento de la evolución de la accidentabilidad eléctrica de las empresas adheridas a la ACHS. Un primer propósito fue analizar la calidad de los datos estadísticos y determinar la clasificación de los accidentes eléctricos. La metodología utilizada para la obtención de estos resultados fueron los relacionados con los procesos de innovación, específicamente las primeras tres etapas, las cuales son: “Entender”, “Observar” y “Sintetizar”. La técnica de análisis de los resultados se realiza de forma manual, categorizando los registros de accidentes nuevamente, es decir, todos aquellos cuya causa de origen está directamente relacionada con accidentes por contacto con energía eléctrica y que en primera instancia se determinó que la causa era distinta. El tratamiento de la información se realizó mediante técnicas cuantitativas puesto que se recogen y analizan datos. Se estudió la asociación entre los tipos de accidentes registrados y la relación directa causal de éstos. El análisis es de inferencia simple porcentual, explicativo e interpretativo.

Respecto a los accidentes relacionados con trabajadores de empresas adheridas a la ACHS, se revisó y depuró la base de datos general de la institución (accidentes ocurridos entre los años 2009 a 2012) y se comparó con la base del área Salud del

Hospital del Trabajador ACHS (HT) y otros datos de la base de Unidad de pacientes quemados del HT y de manera manual del libro de ingreso de pacientes de esta unidad. Se efectuó una nueva base de datos de los accidentes eléctricos mal clasificados que se encontraban tipificados en otras categorías de accidente y se realizaron estadígrafos de los datos obtenidos. Un segundo procedimiento ha sido indagar en los relatos de otras tipologías de accidentes, con el fin de establecer una nueva base de datos y llegar al número de casos reales de accidentes por contacto con energía eléctrica. Para ello, se verifican las distintas tipologías de accidentes y se cruza información con los relatos relacionados a cada uno de ellos. Los tipos de accidentes analizados son:

- Trabajo en altura
- Contacto con/por
- Golpeado por /con
- Contacto con fuego o temperatura extrema
- Otros tipos

A través de la consulta a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), se obtuvieron y analizaron las estadísticas de accidentes eléctricos que han sido motivo de fiscalización de las instalaciones eléctricas por parte del organismo gubernamental. Cabe señalar, que estos datos son representativos sólo respecto a aquellas instalaciones que se han visto perjudicadas por incidentes graves y donde ha sido notificada la SEC. Además se analizó la información proporcionada por la SEC en relación a las fallas más comunes de las instalaciones en el país.

En el diseño, se efectuó consulta bibliográfica y se trabajó con la normativa vigente, de manera de definir un estándar y evaluaciones de peligros eléctricos, para luego alimentar el Programa de Seguridad Eléctrica.

Se ha orientado sobre la aplicación de “Programa de Seguridad Eléctrica” en empresas adscritas, cuyo foco es la evaluación cualitativa de riesgos eléctricos, a través de listas de chequeo con requisitos normativos respecto a condiciones de riesgo eléctrico de las instalaciones y gestión de seguridad eléctrica. Adicionalmente a lo anterior, se han realizado evaluaciones cuantitativas de parámetros eléctricos y se ha ponderado su criticidad para priorizar normalización. Para lo anterior, se adquirieron equipos especiales para evaluación de parámetros eléctricos y se desarrollaron informes de evaluación de riesgos en relación a las desviaciones detectadas. Se ha incorporado esta técnica dentro de las asesorías especiales en materia de seguridad eléctrica que se presta a las empresas adheridas a este organismo administrador.

Se diseñaron capacitaciones con los antecedentes aportados del presente estudio. Se han planteado capacitaciones específicas tanto para Expertos ACHS (Fuerza de Tarea), Expertos, Supervisores y Contratistas de mantención eléctrica de las distintas

empresas adscritas y guías para implementar los estándares necesarios para el control de riesgos eléctricos.

Se diseñaron e implementaron estrategias genéricas, de acuerdo a metodologías planteadas, para la asesoría en materia de seguridad eléctrica especialmente a sectores críticos. Es así como se desarrollaron capacitaciones y manuales específicos para Telecomunicaciones y Sector Construcción en relación a gestión de peligros eléctricos.

Evaluaciones cuantitativas de seguridad eléctrica

Dentro de los aspectos a evaluar en las instalaciones, se tiene aquellos relacionados con los principales requisitos de seguridad para las personas y los relacionados a peligros de incendio. Para esto, dentro del proyecto se incluyó la adquisición de equipamiento especial para realizar evaluaciones de riesgo considerando el estado de las instalaciones (nivel ingeniería) y con un resultado en niveles de criticidad. Parte del equipamiento adquirido se menciona en esta parte de la investigación. El restante equipamiento es utilizado en inspecciones, talleres y capacitaciones con los resultados de la presente investigación.

A. Evaluación Termográfica

El objetivo de esta actividad es evaluar condiciones anormales de temperatura en componentes del sistema eléctrico, a través de inspecciones termográficas (infrarrojas), con el fin de detectar condiciones de falla, que pueden derivar en incidentes que afectan a personas (fallas y explosiones por arco eléctrico) y a las propias instalaciones (puntos calientes, deterioro de la aislación, posible amago de incendio), junto con indicar soluciones probables de acuerdo a criticidad de los riesgos evaluados. Esta actividad se lleva a cabo con una cámara termográfica de captura de imágenes por infrarrojos, apta para numerosas aplicaciones. Algunas de estas aplicaciones son la solución de problemas en equipos, mantenimiento preventivo, predictivo y diagnóstico. Una cámara infrarroja es un dispositivo que no necesita del contacto directo para obtener mediciones de temperatura en equipos eléctricos energizados y que detecta la energía infrarroja (el calor) y la convierte en una señal electrónica, la cual se procesa para proyectar una imagen térmica en un video-monitor y calcular su temperatura. Esta cámara incluye un software que entrega un informe con los parámetros a elección que el especialista indica para complementar el informe técnico.



Figura 29. Cámara Termográfica e inspección infrarroja

A.1 Metodología y criterio de evaluación de riesgos

La evaluación de riesgos de la temperatura de las instalaciones eléctricas (peligros), se basa en el cumplimiento de la normativa técnica eléctrica, basada en lo dispuesto por NFPA 70B¹⁴ en referencia a estándar ANSI/NETA MTS-2007¹⁵ (Sección 9, Tabla 100.18).

Tabla 8. Criterio de evaluación de riesgos por sobre-temperatura

Valores de Diferencia de t° en referencia a t° de componente similar bajo igual condición de carga	Valores de Diferencia de t° en referencia a t° normal (ambiente)	Plan de acción	Descripción y Nivel de riesgo
1 °C – 3 °C	1 °C – 10 °C	Iniciar plan de mantenimiento y verificación	Possible deficiencia o defecto Riesgo Tolerable
4 °C – 15 °C	11 °C – 20 °C	Reparación necesaria dentro de plazos acordes	Probable Deficiencia o defecto Riesgo Importante
-----	21 °C – 40 °C	Monitorear hasta que se realicen las medidas correctivas	Deficiencia o defecto mayor Riesgo Crítico
>15 °C	> 40 °C	Reparación inmediata. Peligro constante	Deficiencia o defecto mayor Riesgo Crítico

¹⁴ NFPA 70B: Prácticas recomendadas para la mantenimiento de sistemas eléctricos, (Asociación de protección contra Incendios)

¹⁵ ANSI/NETA MTS 2007: (International Electrical Testing Association); Estándar para la especificación de mantenimiento y pruebas para Sistemas y Equipos de distribución eléctrica.

De esta forma, se puede obtener un resultado analítico considerando ingeniería de seguridad y una evaluación de riesgos para priorizar las acciones y optimizar los recursos. Es así, como preventivamente se entrega un diagnóstico de potenciales accidentes o incendios que pueden ser afectados por sobretemperatura en el sistema eléctrico. La empresa que se asesora puede entonces generar medidas correctivas con la información proporcionada por el informe de termografía. Un ejemplo de esta aplicación, es el caso de la evaluación en una instalación eléctrica, en la que un componente registra una temperatura de 70°C (muy anormal para un componente que en operación normal no debería presentar más de 30°C). Al realizar la evaluación y cambiar un terminal (que provocaba mal contacto, resistencia de contacto), se obtiene una reducción aceptable de temperatura. La figura 30 muestra el ejemplo del informe y la imagen térmica con valores de temperatura antes y después de la medida correctiva. La temperatura de 70 °C descendió a 33°C.

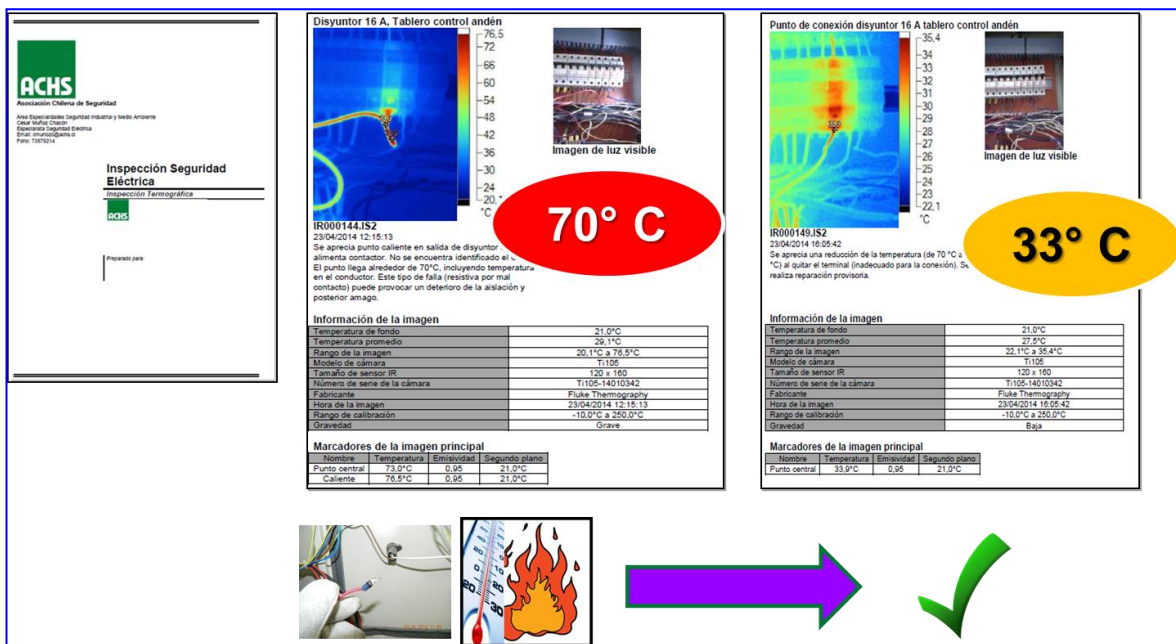


Figura 30. Ejemplo de evaluación termográfica de seguridad eléctrica, posterior reparación y normalización de punto caliente.

B. Comprobación de seguridad eléctrica de las instalaciones

En variadas ocasiones, el asesor de seguridad, ya sea el experto en prevención, un especialista o supervisor, con un conocimiento técnico suficiente de la normativa eléctrica, podrá visualizar ciertos requisitos normativos con sólo mirar los componentes de la instalación (evaluación cualitativa). Sin embargo, no siempre es suficiente dicha evaluación. Un

componente o protección eléctrica puede verse en buenas condiciones, sin embargo, si ésta no es probada o chequeada, no se tendrá real certeza de su estado y operación. Es así como nace la evaluación de los parámetros eléctricos con dos instrumentos principales:

El **medidor de instalaciones** (marca METREL, figura 31), es el equipo necesario para realizar comprobaciones de seguridad en instalaciones eléctricas interiores. Dispone de dos indicadores LED **Pasa/No pasa** a ambos lados de la pantalla LCD para la evaluación de los resultados de las pruebas. Este instrumento mediante software, entrega un informe de los parámetros evaluados, el que se adjunta al informe técnico. Las principales mediciones que realiza este instrumento son:

- Resistencia de aislamiento con tensión DC.
- Continuidad de los conductores de Puesta a tierra con 200mA de corriente de prueba con cambio de polaridad (para evitar resistivas por mal contacto).
- Continuidad de los conductores de Puesta a tierra con 7mA de corriente de prueba con disparo de diferencial.
- Impedancia de línea.
- TRMS tensión y frecuencia.
- Secuencia de fases.
- Prueba de RCD (protecciones diferenciales)
- Valores de tierra de protección



Figura 31: Comprobador de Seguridad de Instalaciones eléctricas.

Por otro lado, el **DETEX** o medidor de diferenciales de la marca CATÜ (figura 32), controla y mide los valores de disparo de los protectores diferenciales,

mediante el tiempo de disparo (en ms) y mediante el valor de intensidad de disparo (en mA). Permite además controlar la conformidad de la red (tensión de servicio; posición de la fase; conexión a tierra existente). La pantalla de color rojo o azul indica de inmediato el buen o mal estado de la instalación en el parámetro que se controla. Al evaluar los parámetros eléctricos mencionados, se tiene una inmediata información sobre el buen o mal estado de los dispositivos que entregan protección a los usuarios contra contactos eléctricos o la protección requerida para sobre-intensidades en el sistema eléctrico. Los resultados de uno o ambos equipos son anexos al informe de evaluación de parámetros eléctricos que se entrega a las empresas donde se realiza la intervención (figura 33).



Figura 32: Detector de diferencias marca CATU



Figura 33. Secuencia de instrumento en instalaciones inspeccionadas. El display rojo indica falla en el dispositivo de protección diferencial.

B.1 Metodología y criterio de evaluación de riesgos

Dado que los requisitos ya se encuentran ponderados por la SEC, éstos se cruzan con la prueba Pasa” o “No pasa”, obteniéndose un resultado con un nivel de riesgo para priorizar las acciones.

Tabla 9. Criterio de evaluación de riesgos para comprobación de instalaciones eléctricas

Criterio SEC	No Pasa	Pasa
Defectos muy graves: Criticidad = 3	Riesgo Crítico	Riesgo Aceptable
Defectos graves Criticidad = 2	Riesgo Importante	Riesgo Aceptable

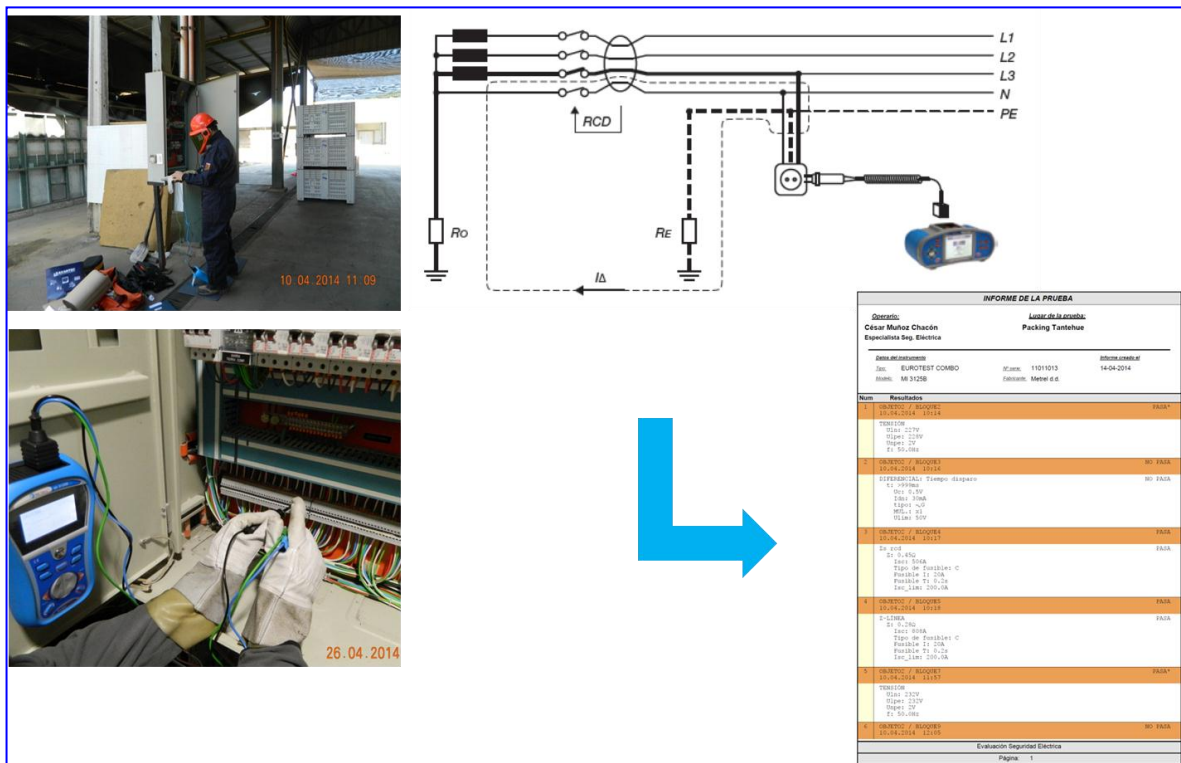


Figura 34. Ejemplo de evaluación de seguridad eléctrica mediante pruebas diferenciales, tierras y otras. La intervención incluye protección para shock eléctrico y relámpago de arco.

5. RESULTADOS

Las estadísticas de accidentes eléctricos en Chile son escasas y no apuntan al criterio técnico sugerido por las normas internacionales actuales. Por lo tanto, en los siguientes apartados se ofrece una recopilación de datos directos, indirectos, comparaciones y proyecciones, junto con las herramientas preventivas de evaluación de riesgos y de aspectos preventivos en materia de seguridad eléctrica, como resultante del presente trabajo de investigación.

5.1 Accidentes eléctricos fatales población chilena

De acuerdo a la OMS (Organización Mundial de la Salud), las causas de enfermedades y muertes se clasifican por el código CIE-10¹⁶. Los accidentes eléctricos obedecen a la siguiente clasificación:

- (W85) Exposición a líneas de transmisión eléctrica
- (W86) Exposición a otras corrientes eléctricas especificadas
- (W87) Exposición a corriente eléctrica no especificada

En función de lo anterior y de acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas (INE) [19], entre los años 2007 a 2011 se ha registrado un promedio anual de 66,2 fatalidades/año en la población de Chile, debido a accidentes con energía eléctrica (tabla 10). La columna A muestra la tasa de mortalidad (estimada por cada millón de habitantes) de acuerdo a número de fallecidos y población total. Por otro lado, la columna B muestra el mismo indicador ajustado a la población normalizada para los años 2000 a 2025¹⁷ [20].

¹⁶ La CIE-10 es el acrónimo de la Clasificación Internacional de Enfermedades, décima versión correspondiente a la versión en español (International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems) publicada por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

¹⁷ Tasa ajustada de acuerdo a población estimada (Estadísticas INE) y Paper Age standardization of rates [20]. Sólo se ha considerado rangos de edad para el ajuste.

Tabla 10. Tasa de mortalidad por causa de accidentes eléctricos Población de Chile (Años 2000-2011) [19]. Elaboración propia.

Año	N° fatalidades origen eléctrico	Población en Chile de acuerdo a INE	(A) Tasa Mortalidad (x 10 Exp ⁶)	(B) Tasa ajustada Mortalidad (x 10 Exp ⁶)
Año 2000	106	15.211.308	6,97	7,01
Año 2007	80	16.598.074	4,82	4,73
Año 2008	69	16.763.470	4,12	4,02
Año 2009	61	16.928.873	3,60	3,49
Año 2010	68	17.094.275	3,97	3,84
Año 2011	53	17.248.450	3,07	2,98
Total Acumulado (2007-2011)	331 (X: 66,2)			

La tasa de mortalidad disminuye en este período, pese a que aumenta el consumo energético tanto en Chile como en el mundo. Sin embargo, el período anterior entre el año 1982 y 1999 mostró un alza sostenida de este indicador, el cual llegó a sobre 4 muertes por cada millón de personas (mientras que la proyección alcanza un valor sobre 7 estimativo al año 2000), de acuerdo a estudio de fatalidades derivadas de quemaduras eléctricas (figura 35) [21]. Se puede señalar, en vista de los indicadores observados en fatalidades eléctricas a partir del año 2000, que las cifras han ido disminuyendo paulatinamente (figura 36). Sin embargo, la tasa en Chile de 2,98 para el año 2011 sigue siendo muy alta, comparativamente a la tasa de mortalidad de España (1,4 el año 2007)¹⁸ y las tasas de países desarrollados para el año 1988 de acuerdo a OIT (Francia 2; Alemania 1,6; Austria 0,9; Japón 0,9; Suecia 0,6) [11].

¹⁸ Fuente: MAPFRE. (http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/gerencia/n104/estud_02.html)

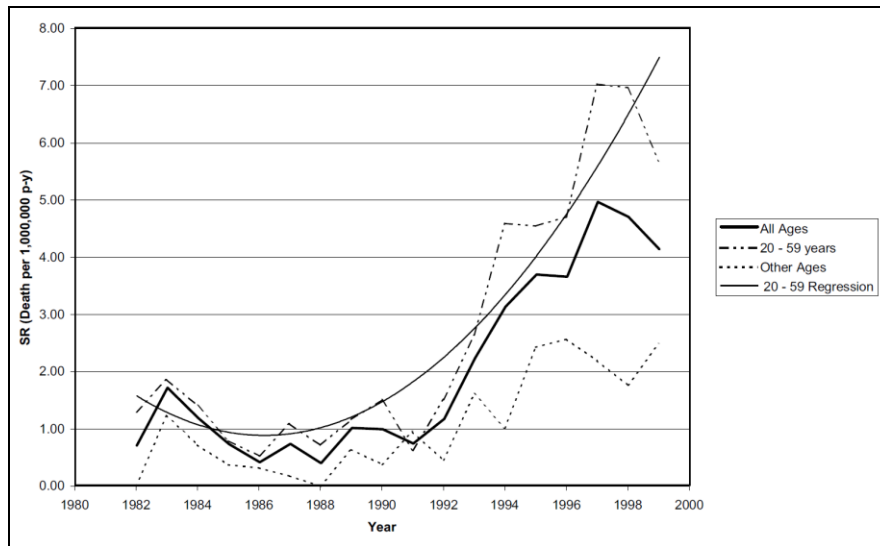


Figura 35: Evolución tasa de Mortalidad por quemaduras eléctricas (año 1982-1999) [21].

La baja sostenida a partir del año 2000 puede ser explicada por una disminución de los accidentes en niños, nuevas tecnologías en equipos eléctricos, el cambio normativo de la reglamentación eléctrica (Nch-elec 4/2003), que incluyó como un punto obligatorio el uso de sistemas de protecciones diferenciales y un aumento sostenido en los estándares laborales, sobretodo, en lo referido a seguridad e higiene. Respecto a la disminución de accidentes en niños, Coaniquem (Corporación de Ayuda al Niño Quemado, creada en 1979)¹⁹, sostiene que anualmente son afectados unos 83.000 niños, cifra que se ha reducido a la mitad en los últimos 20 años (162.000 el año 1993). La principal causa es por contacto con líquidos calientes (60%), mientras que las quemaduras eléctricas representan el 3% del total de lesiones por quemaduras, es decir, aproximadamente 2.500 quemaduras eléctricas se producen anualmente (en promedio 7 niños afectados diariamente en Chile por esta causa). En relación a las quemaduras eléctricas, la institución señala que la gran mayoría de ellas son graves, es decir, producen lesiones en la piel Tipo B (ó quemadura de III Grado). Son profundas y prácticamente todas dejan algún tipo de secuela con cicatrices gruesas, que con el crecimiento de los niños van provocando limitaciones funcionales por retracción. Requieren tratamiento especializado y rehabilitación por largos períodos (en muchos casos se produce amputación o pérdida de dedos o extremidades). Las lesiones se producen principalmente en el hogar por manipulación de artículos eléctricos en mal estado y el uso inadecuado de extensiones eléctricas (alargadores), de acuerdo a lo indicado por Coaniquem.

¹⁹ Fuente: Dirección de gestión médica de COANIQUEM y Conicyt (Mapa de quemaduras en niños). <http://www.conicyt.cl/fonis/2013/07/31/coaniquem-presenta-nuevo-mapa-de-las-quemaduras-en-chile/>

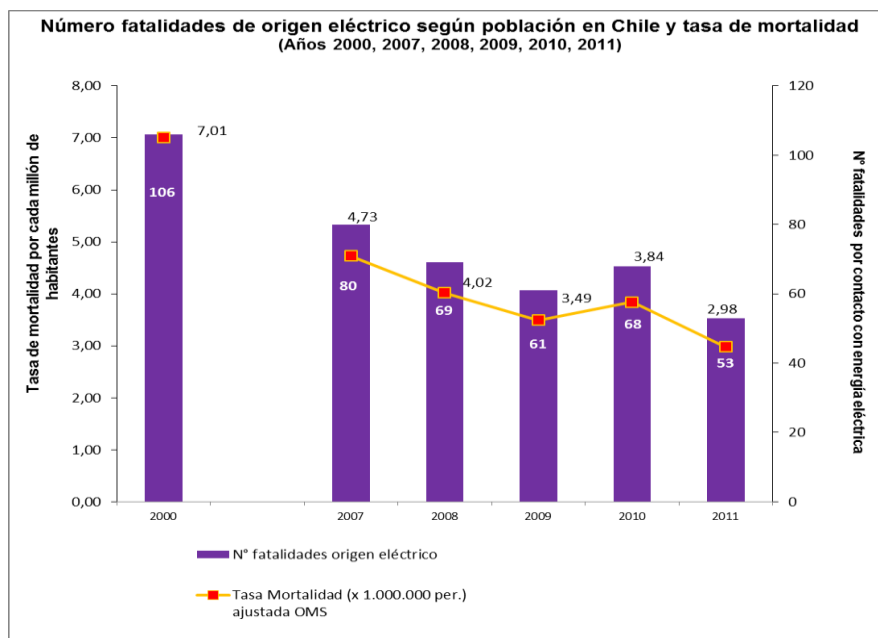


Figura 36: Evolución fatalidades origen eléctrico (Años 2000-2011). Fuente INE [19]-Elaboración propia.

5.2 Accidentes Eléctricos fatales en el ámbito laboral

De acuerdo a lo informado por SUSESO en su anuario 2012, la tasa de fatalidad laboral (por cada 100.000 trabajadores), es de un 4,9 con 217 casos [22]. Por otro lado, el Departamento de Estadísticas e Información de Salud –DEIS- del Ministerio de Salud [23], también entrega datos estadísticos de fatalidades y la respectiva clasificación CIE-10 por tipo de diagnóstico de accidente. Se ha optado por mostrar estos datos en relación a los estimativos totales y el comparativo con los de origen eléctrico, por presentar el detalle de las sub-clasificaciones de accidentes.

La figura 37 muestra la distribución general de los accidentes fatales de origen laboral para el período 2005-2009 en Chile. Al abrir la causa denominada “otras causas externas de traumatismos accidentales”, se tiene que la distribución porcentual promedio para el mismo período, ubica en primer lugar la exposición a fuerzas mecánicas inanimadas (golpes y atrapamiento principalmente) con 30%; luego le sigue las caídas (distinto, mismo nivel y otras) con un 28%; la exposición a la corriente eléctrica con un 13% y el resto de causas con un 29% (figura 38). Es decir, la incidencia de la energía eléctrica en el caso de accidentes fatales, la posiciona en el tercer lugar, excluyendo dentro de esta clasificación a los accidentes de tránsito. En el período 2007 a 2011, se registró un total de 107 fatalidades de origen eléctrico, con un promedio anual de 21,4 fallecidos (Tabla 11). Cruzando los datos de INE y Seremi Salud, se obtiene que los accidentes eléctricos fatales de origen laboral representan un 32% respecto al total de fatalidades de origen eléctrico en la población chilena. Desde el año 2009 a

septiembre de 2014, han fallecido 16 trabajadores de empresas afiliadas a ACHS, por quedar sometidos a tensiones peligrosas en distintas actividades desarrolladas en el ambiente laboral [24].

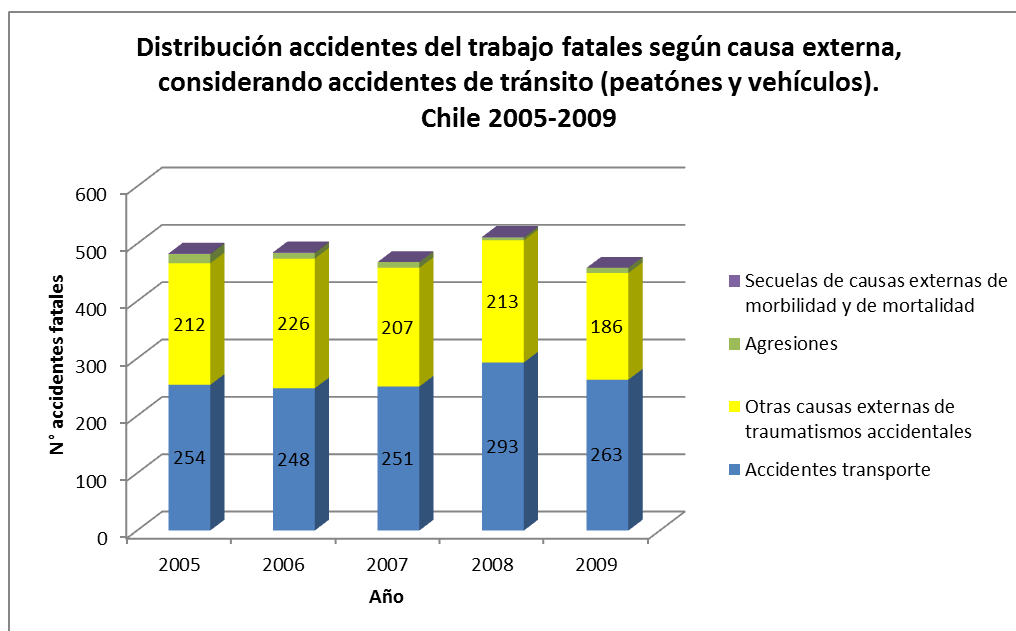


Figura 37: Distribución accidentes del trabajo fatales de acuerdo a causas externas (2005-2009). Fuente DEIS-MINSAL [23]

Tabla 11. Accidentes laborales fatales de origen eléctrico (Años 2007-2011) [23]

Año	2007	2008	2009	2010	2011	Total acumulado o período	Promedio (anual)
Exposición a la corriente eléctrica y otras (W85-W99)	22	25	19	25	16	107	21,4

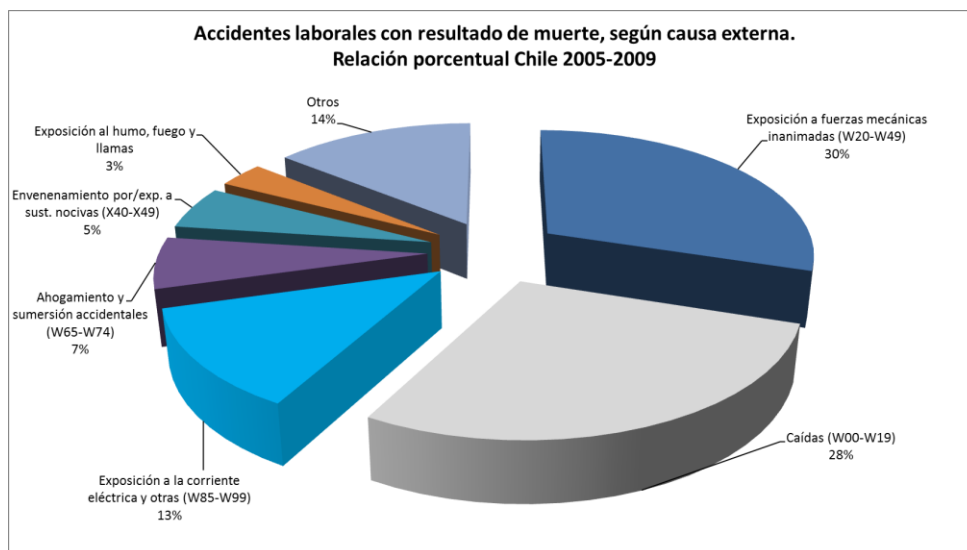


Figura 38: Relación porcentual causa de accidentes laborales fatales. (2005-2009). Fuente DEIS-MINSAL [23]

5.3 Análisis base estadística SAGIP²⁰ de ACHS, clasificación correcta de accidentes eléctricos

De acuerdo a la casuística desde la base estadística de ACHS (SAGIP), los accidentes laborales se clasifican según “tipo de accidente”, donde los referidos a contactos eléctricos quedan clasificados como “exposición al arco eléctrico”:

5.3.1 Verificación de clasificación de accidentes eléctricos según tipo: “exposición al arco eléctrico”

El primer análisis se refiere a verificar la correcta clasificación de accidentes eléctricos en la categoría de “exposición al arco eléctrico”.

a. Concepto técnico: El concepto “contacto con energía eléctrica” (según lo definido en ANSI Z10²¹, contacto con corriente eléctrica), técnicamente no es concordante respecto al término “exposición al arco eléctrico”. El contacto con energía eléctrica se refiere a aquel contacto directo o indirecto con una fuente de energía eléctrica, donde fluye una corriente por el cuerpo humano (choque o shock eléctrico [9]-[10]-[12]) y/o éste sufre consecuencias a partir de un fenómeno de descarga por arco eléctrico no controlado (como falla o accidente) y las consiguientes lesiones en el ámbito de quemaduras externas u otras (concepto de relámpago de arco o Arc Flash [2]-[3]-[9]).

²⁰ SAGIP: Sistema de Asistencia Gestión Interna de Prevención ACHS

²¹ ANSI Z10: Estándar de EE.UU. para Sistema de Salud y Seguridad Ocupacional

El concepto de exposición al arco eléctrico, de la manera en cómo se trata la información estadística en ACHS, se refiere a casos de accidentes por contacto con energía eléctrica y también a otro caso bastante común, aquel relacionado con el arco eléctrico controlado, utilizado en procesos de soldadura, donde la energía de este fenómeno provoca grandes temperaturas de fusión de los metales y materiales que conforman la soldadura. Este fenómeno se acompaña de radiaciones no ionizantes (radiaciones UV) que en muchos casos, al no protegerse el usuario, generarán principalmente daños oculares y/o quemaduras por contacto con los electrodos o el material fundente. De acuerdo a ANSI Z10, este tipo de riesgo se clasifica como “exposición a radiaciones no ionizantes”.

En la presente investigación se sugiere que las radiaciones no ionizantes, se considere en la categoría “otros”, al igual que el restante grupo de la clasificación CIE-10 W-88 a W-99, considerando radiaciones ionizantes, calor (ambiente térmico) y presiones. Las categorías para los restantes tipos de accidentes son:

- (W88) Exposición a radiación ionizante
- (W89) Exposición a fuente de luz visible y ultravioleta, de origen artificial
- (W90) Exposición a otros tipos de radiación no ionizante
- (W91) Exposición a radiación de tipo no especificado
- (W92) Exposición a calor excesivo de origen artificial
- (W93) Exposición a frío excesivo de origen artificial
- (W94) Exposición a presión de aire alta y baja y a cambios en la presión del aire
- (W99) Exposición a otros factores ambientales y a los no especificados, de origen artificial

b. Análisis estadístico según desglose de “accidentes por exposición al arco”: En relación a la base estadística de accidentes de la Asociación Chilena de Seguridad [25], análisis relacionado a los accidentes del año 2009-2012 categorizado como “Exposición al arco eléctrico”, relatos y perfil de cargo, se aprecia que esta base de accidentabilidad integra los accidentes por contacto con energía eléctrica y también los relacionados a exposición a radiaciones no ionizantes, (por trabajos de soldadura al arco), cuyo resultados son los siguientes:

Tabla 12: Detalle tipológico de accidentes del trabajo categorizado como "Exposición al arco eléctrico" – Periodo 2009-2012. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Detalle de Tipología	Casos año 2009	Casos año 2010	Casos año 2011	Casos año 2012
Accidentes por contacto con energía eléctrica	97	95	106	134
Accidentes por exposición a radiaciones no ionizantes (principalmente por soldadura al arco)	259	252	252	263
Accidentes mal clasificados (diversa índole)	34	57	47	102
Total accidentes por "Exposición al arco eléctrico" (base original)	390	404	405	499

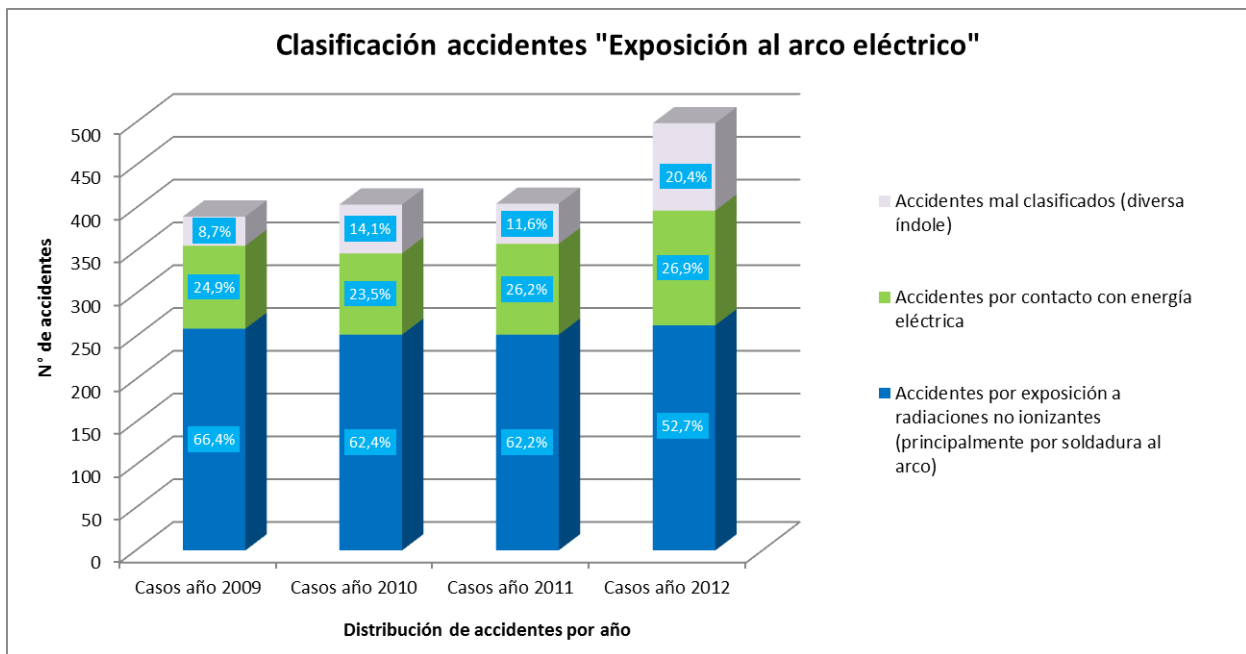


Figura 39: Clasificación de accidentes por exposición al arco eléctrico Año 2011-2013. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Se aprecia entonces, que sobre el 60% de los casos clasificados como exposición al arco eléctrico corresponden a casos de trabajadores accidentados en labores de soldadura, lo que en un primer análisis induce a error, por ser casos no representativos en su totalidad de accidentes eléctricos.

5.3.2 Análisis estadístico según verificación de casos en otras categorías (tipo de accidente):

Respecto a la clasificación de accidentes eléctricos en otras categorías, la figura 40 representa los accidentes eléctricos y días perdidos (DP) en 5 categorías distintas según tipo de accidente (período acumulado 2009-2012), incluyendo la categoría exposición al arco eléctrico corregida. Se aprecia que la mayor cantidad de casos se encuentran en la clasificación “otros tipos” y luego en la categoría “golpeado por/con/contra”.

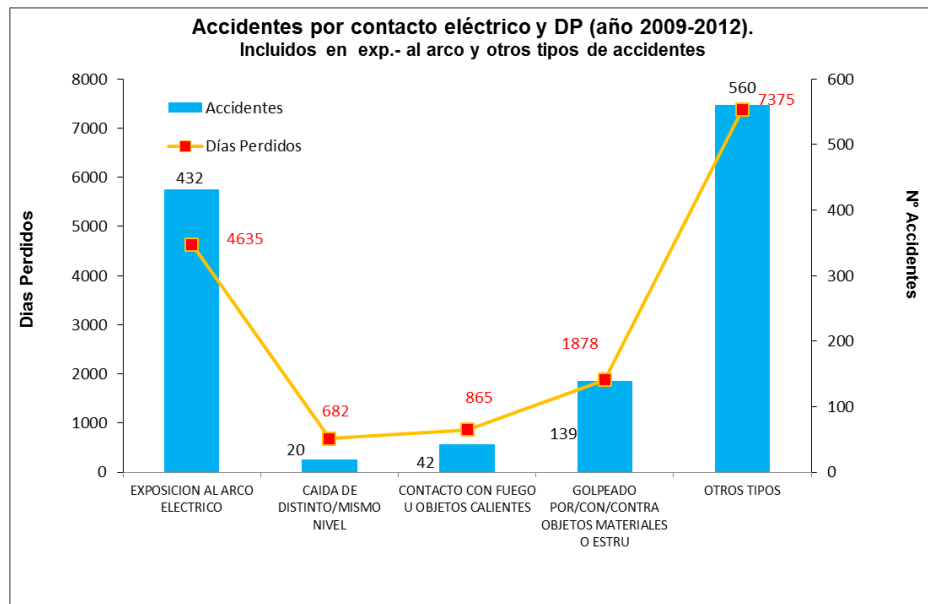


Figura 40: Relación de accidentes eléctricos incluidos en otras categorías según tipo de accidente – análisis de relatos. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

5.3.3 Análisis de relatos en estadística de accidentes año 2009-2012:

El análisis cualitativo respecto a la clasificación errónea en los datos, se presenta a continuación.

a. Caída distinto nivel – mismo nivel.

En un número menor de casos, la caída de distinto nivel se puede producir a partir de un contacto eléctrico. La importancia de establecer una relación causal directa, radica en la gravedad de estos casos. En la base de datos se verifican casos clasificados por ACHS como **Graves** (con más de 30 días perdidos). Se detectan casos para la tipología “caída de mismo nivel” y también otros clasificados como **SUSESO**²².

b. Contacto con fuego u objetos calientes.

Se analizan relatos en esta categoría, dado que la clasificación relacionada a eventos eléctricos, supone en muchos casos, exposición a altas temperaturas y esto implica una clasificación en función a eventos de fuego o partículas incandescentes o explosiones por arco eléctrico.

c. Golpeado por/con/contra.

Esta clasificación arroja una cantidad de 139 casos de accidentes con energía eléctrica. Un número importante de casos, en los relatos, se describen como “golpe eléctrico”. Esto hace suponer que la clasificación errónea se debe a la correspondencia entre la palabra “golpe” y la tipología “golpeado”. Claramente este error, induce a no contemplar estos accidentes en su contexto y como se ha señalado, por lo demás, son graves. El término golpe eléctrico se relaciona con el denominado choque o shock eléctrico.

d. Otros tipos.

Se clasifica en esta categoría, el mayor número de accidentes laborales de origen eléctrico, superando a la categoría “exposición al arco eléctrico”. Claramente esta cifra es significativa a la hora de

²² A través de sus instrucciones y criterios fijados institucionalmente la Dirección del Trabajo del Gobierno de Chile ha definido como accidentes graves y fatales los siguientes conceptos:

Accidentes Fatales: Aquellos ocurridos a causa o con ocasión del trabajo y que provocan la muerte de uno o más trabajadores.

Accidentes Graves: Aquellos accidentes que ocurran a causa o con ocasión del trabajo y que signifiquen incapacidad temporal y/o invalidez, que requiera hospitalización. Por ejemplo: Tec, fracturas, amputaciones, politraumatismos, quemaduras, intoxicaciones severas y/o heridas complicadas, u otras. Siempre que en cualquiera de los casos, involucren a uno o más trabajadores, tengan connotación pública o hayan sido difundidos por la prensa.

Criterio Interno en ACHS: Para el presente estudio se considera accidentes graves a los relacionados con los accidentes que impliquen más de 30 días de tratamiento (Días Perdidos).

verificar casos y datos de accidentes eléctricos. Es decir, una gran cantidad de casos se “pierden” al clasificarse en esta categoría.

5.3.4 Discusión de resultados

Producto de los antecedentes expuestos, se ha elaborado una nueva base de datos para el año 2009, 2010, 2011 y 2012, corregida respecto al análisis del punto 5.4.2 y respecto al error de clasificación según tipología presentado en el punto 5.4.3, lo que arroja el siguiente resultado:

Tabla 13: Nueva base de datos corrigiendo error de clasificación tipológica de accidentes – Periodo 2009-2012. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Detalles	Año 2009		Año 2010		Año 2011		Año 2012		Real
	Tipología “Exposición Arco”	Corrección datos	Tipología “Exposición Arco”	Corrección datos	Tipología “Exposición Arco”	Corrección datos	Tipología “Exposición Arco”	Corrección datos	Total
Total accidentes por “Contacto con energía eléctrica”	390	297	404	295	405	273	499	328	1193
% casos respecto al total	0,23%	0,18%	0,22%	0,16%	0,21%	0,14%	0,26%	0,17%	
Total Días Perdidos	3031	4732	1265	3897	1326	3615	1854	3191	15435
% DP respecto al total	0,22%	0,35%	0,08%	0,24%	0,09%	0,26%	0,16%	0,27%	

Relacionando los datos de la tabla anterior, el número de casos de accidentes eléctricos disminuye, debido a que en la clasificación inicial se consideran las exposiciones a radiaciones de los soldadores. Sin embargo, el número de Días Perdidos aumenta, debido a la incorporación de casos de accidentes eléctricos, que en general, arrojan una mayor cantidad de días de tratamiento, debido a la gravedad de los mismos.

Si bien, el número de casos es menor a 1% respecto al total de accidentes (para los cuatro períodos analizados), los accidentes eléctricos en general, son graves. Esto se demuestra a través de la relación entre la cantidad de días de tratamiento de acuerdo a la cifra de casos graves y el porcentaje de casos clasificados como graves (“Graves” clasificación médica, casos “SUSESO”, respecto a Circular 2345, y “Fatales”). Éstos representan sólo del 0,5 al 0,8 % de los accidentes con baja laboral, pero este bajo

porcentaje no se corresponde con cifras sobre el 10 % de los accidentes fatales en los lugares de trabajo, lo cual indica que se asocian a lesiones muy graves. Para los posteriores análisis se considerará el concepto de “gravedad”, de acuerdo a nota pie de página N° 16.

Para el período analizado (2009-2012) se tiene un promedio de 13,03Días Perdidos (DP) para los accidentes eléctricos, mientras que el resto de los accidentes representa un promedio de 7,48 DP. Esta tendencia se muestra en la figura 41.

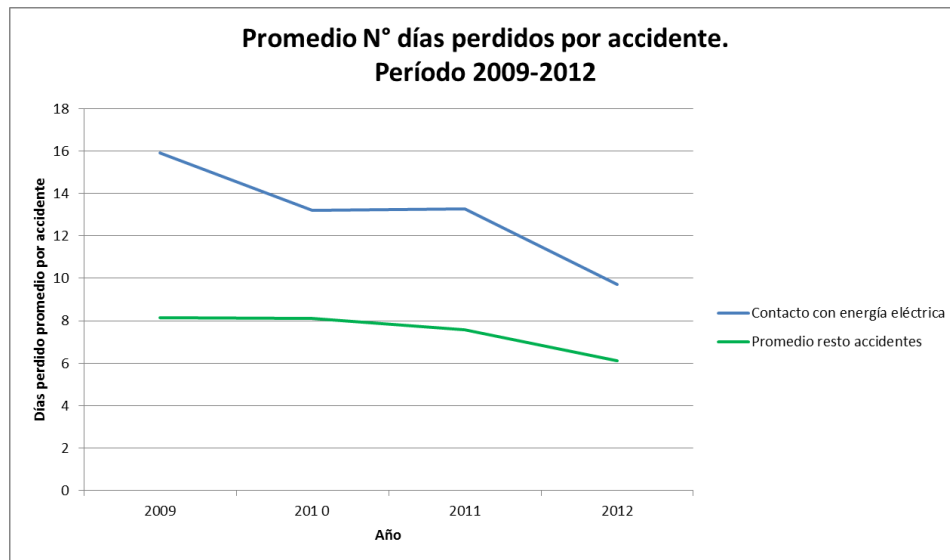


Figura 41: Comparación del promedio de días perdidos para accidentes eléctricos VS el resto de accidentes.
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Para el mismo período analizado (2009-2012), cada **accidente eléctrico grave** en promedio significó 60,8 días perdidos. Comparativamente, respecto a otros tipos de accidentes, se ubica en segundo lugar en cuanto a la gravedad, sólo precedido por “Atropello/Choques”, que representa un valor promedio de 63,7 días perdidos por cada accidente grave acontecido. El promedio de días perdidos por cada accidente grave es de 49,4. La figura siguiente refleja este indicador para diversos tipos de accidentes:

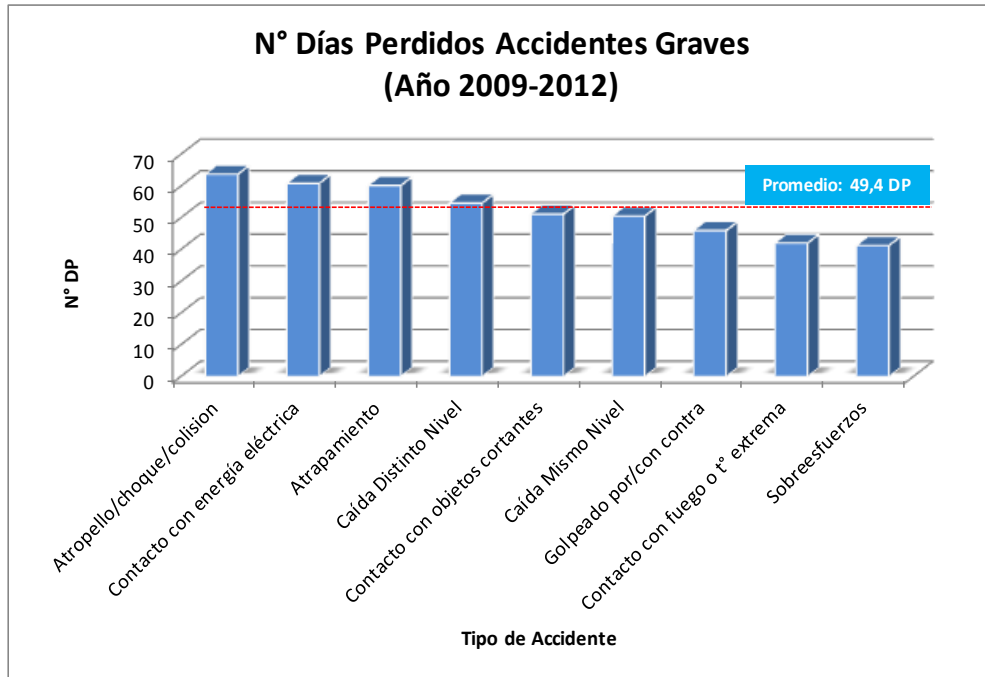


Figura 42: N° de Días perdidos según tipo de accidente. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Otro análisis que determina la gravedad de los accidentes eléctricos se relaciona con que el 17% son graves, representando aproximadamente el 77,5% de los Días Perdidos totales del período 2009 a 2012. El promedio de casos graves para los restantes accidentes de otras tipologías es de sólo un 8,4%. Este detalle comparativo se muestra en figura 43. La relación entre el porcentaje de accidentes graves y DP se muestra en la figura 44, comparando entre todos los tipos de accidentes y los eléctricos.

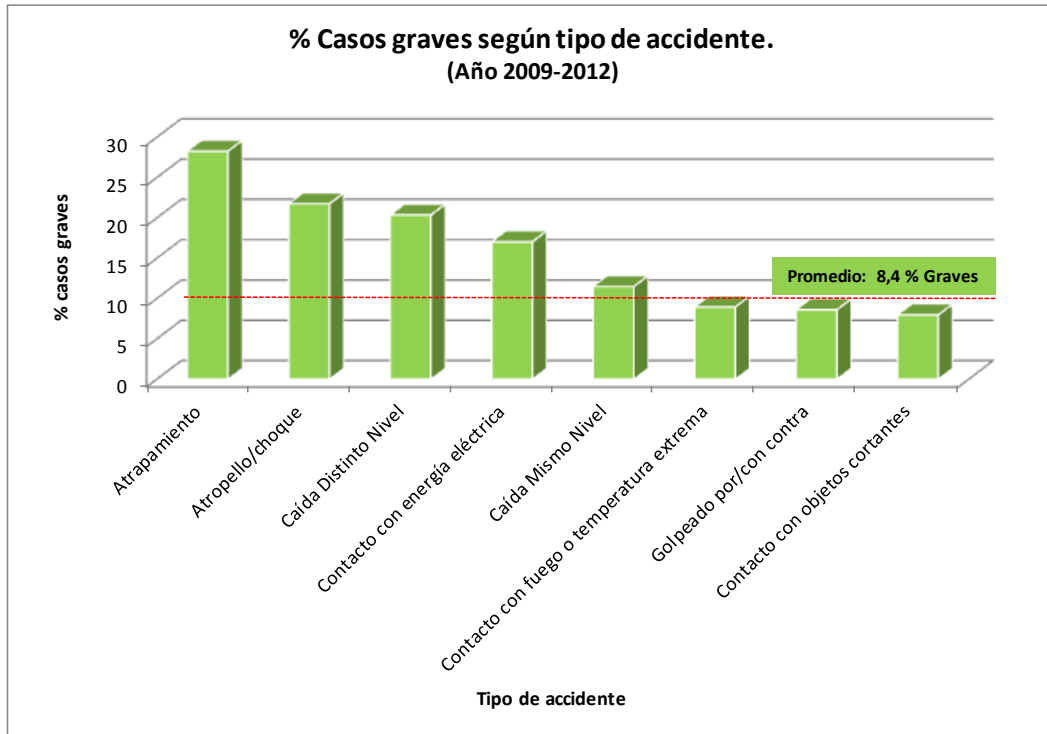


Figura 43: Porcentaje de accidentes graves según tipo de accidente.
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

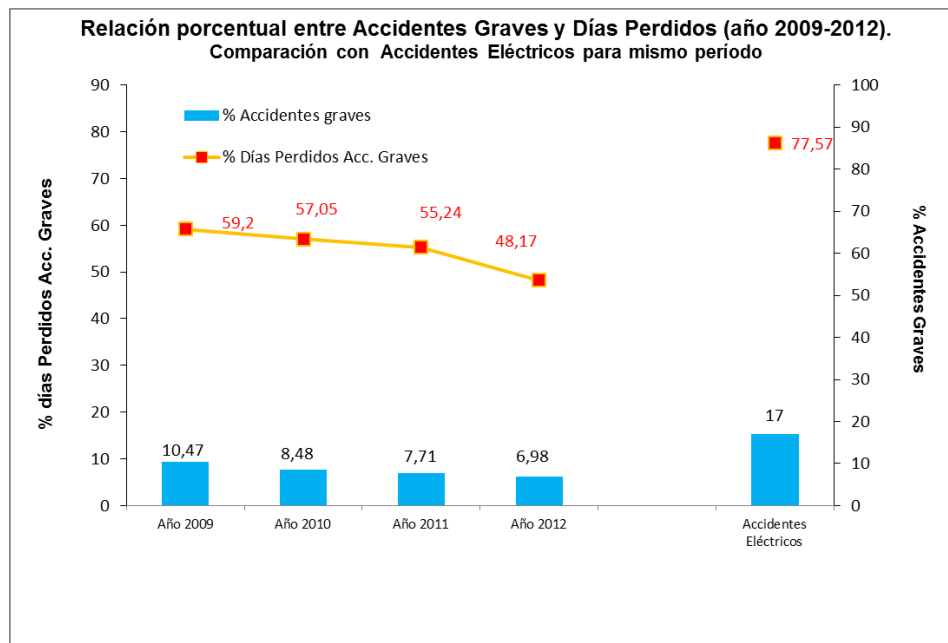


Figura 44: Relación porcentual entre accidentes graves y Días Perdidos. Las columnas año 2009 a 2012 representa la totalidad de accidentes. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

5.4 Principales estadígrafos de acuerdo a nueva base de datos de accidentes eléctricos de origen laboral en ACHS.

El siguiente análisis busca establecer las principales variables relacionadas a los accidentes eléctricos, a partir de la nueva base de datos confeccionada para este fin.

Los accidentes eléctricos prevalecen en las regiones con mayor población en Chile, concentrándose éstos en la región metropolitana. El número de casos distribuidos en Zonal Metropolitana Norte y Zonal Metropolitana Sur (clasificación interna en ACHS), no presenta gran diferencia, observándose valores similares en su distribución.

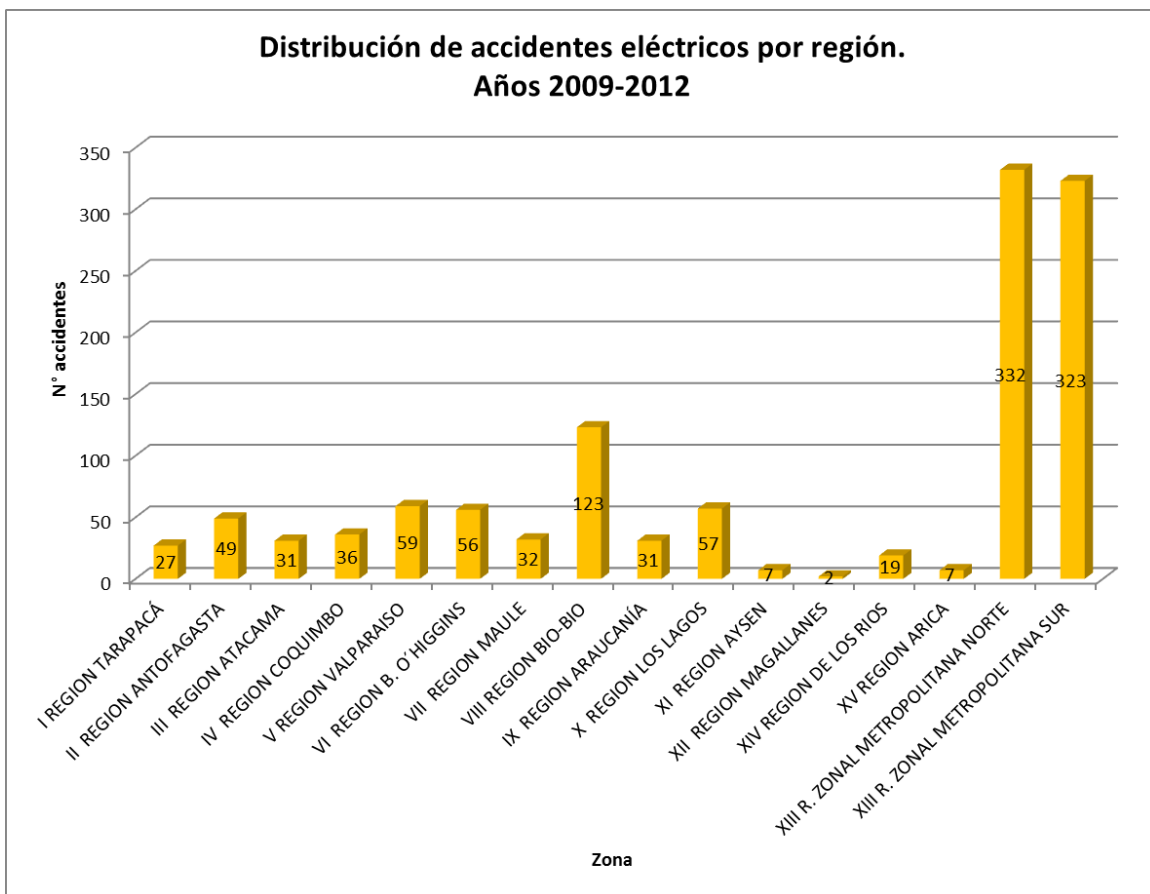


Figura 45: Distribución accidentes eléctricos por región. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Respecto a la distribución según rubro o sector, se ha continuado con un análisis comparativo respecto al número de casos y DP, siempre para distinguir la mayor criticidad de accidentes. En este caso, se aprecia que la mayor cantidad de casos se presenta en la Industria, seguida por el Comercio/Retail, y Construcción (figura 46). Este último sector muestra una mayor cantidad de DP, respecto al de Comercio/Retail, que supera en número de accidentes. Esto puede explicarse en

razón a que si bien corresponden a un menor número de casos, son más graves, probablemente y de acuerdo al análisis de determinados casos, debido a que un número importante de éstos se originan por contactos con líneas eléctricas aéreas en sistemas de distribución, con niveles de voltaje en el orden de 12.000 o 23.000 V, lo que implica una mayor gravedad de las lesiones. Otro sector que presenta una mayor alza en el número de DP, es el Gubernamental y Municipalidades, casos que también pueden atribuirse a trabajos cerca de líneas eléctricas aéreas, especialmente aquellos relacionados con mantenimiento de luminarias, señales publicitarias o de campañas políticas.

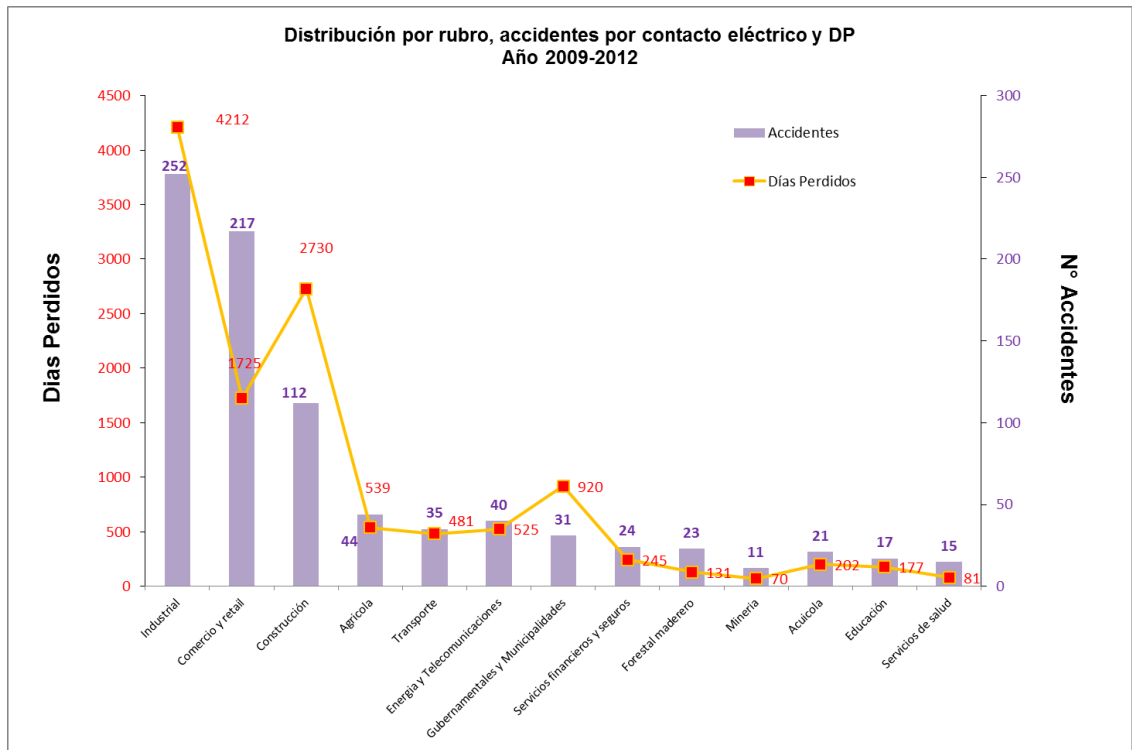


Figura 46: Distribución accidentes eléctricos por rubro. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

La distribución de accidentes durante el año calendario refleja en general, un comportamiento homogéneo, detectándose la mayor presencia de casos entre los meses de diciembre-abril y una disminución de la frecuencia entre julio y octubre (figura 47). La distribución porcentual según día de la semana muestra una tendencia constante los días hábiles entre lunes y viernes, disminuyendo los fines de semana (figura 48). Por otro lado, la distribución horaria muestra un incremento de casos en el horario diurno, presentándose un peak a medio día. En horario de almuerzo la frecuencia disminuye y luego nuevamente se incrementa en la jornada de la tarde, presentándose otro peak a las 16:00 hrs. En horario nocturno, entre las 20:00 y 07:00 hrs. se observa un comportamiento

homogéneo en la ocurrencia de accidentes eléctricos, con frecuencias menores a 20 casos (figura 49).

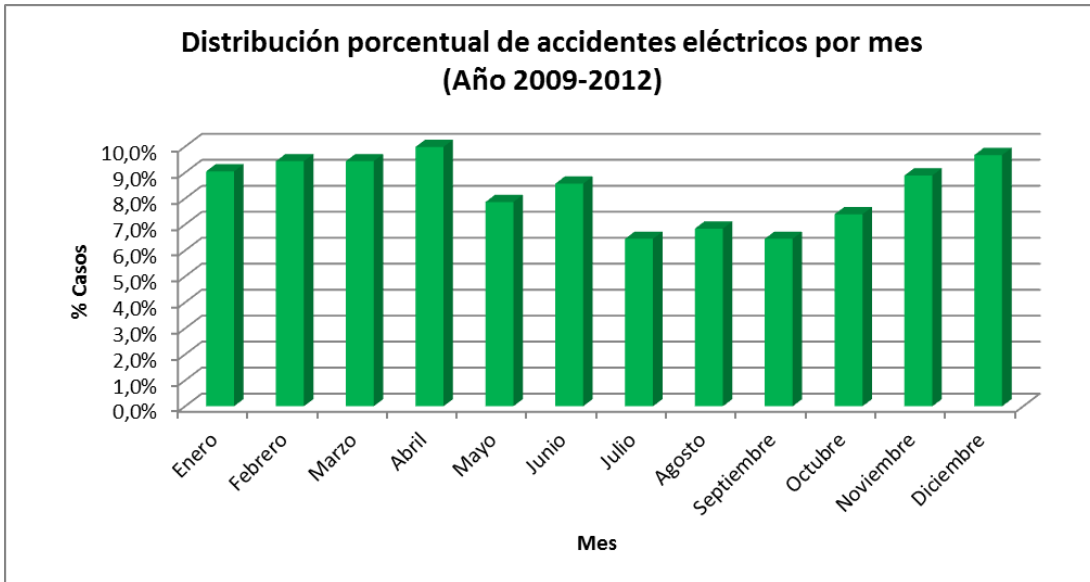


Figura 47: Distribución mensual de accidentes eléctricos
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

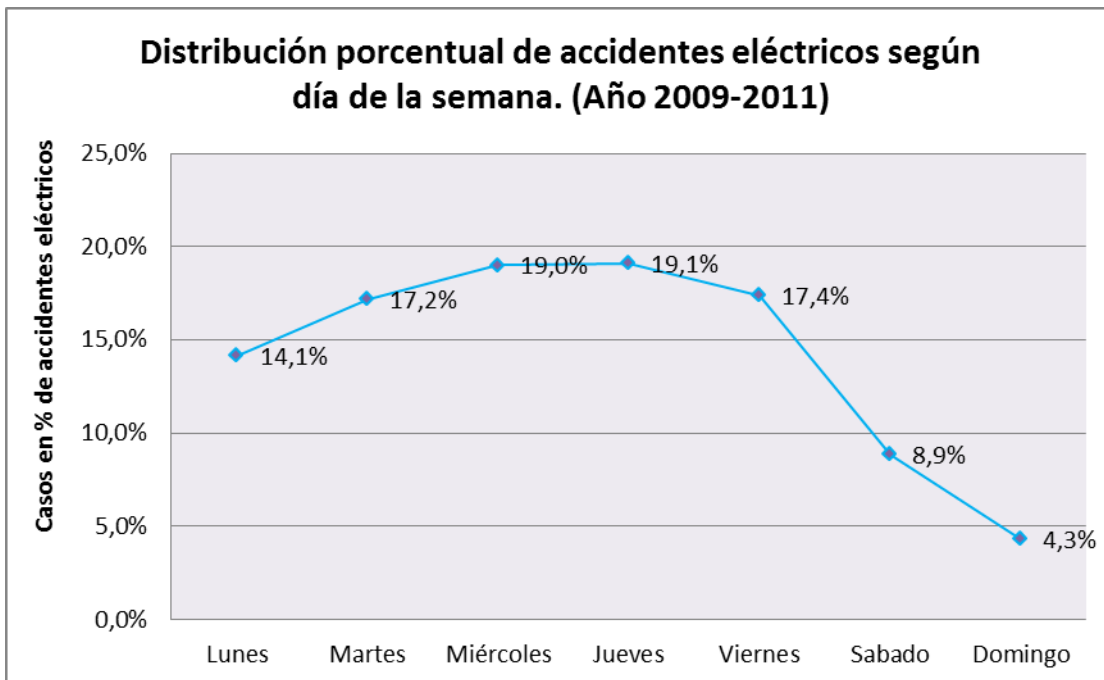


Figura 48: Distribución diaria de accidentes eléctricos
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

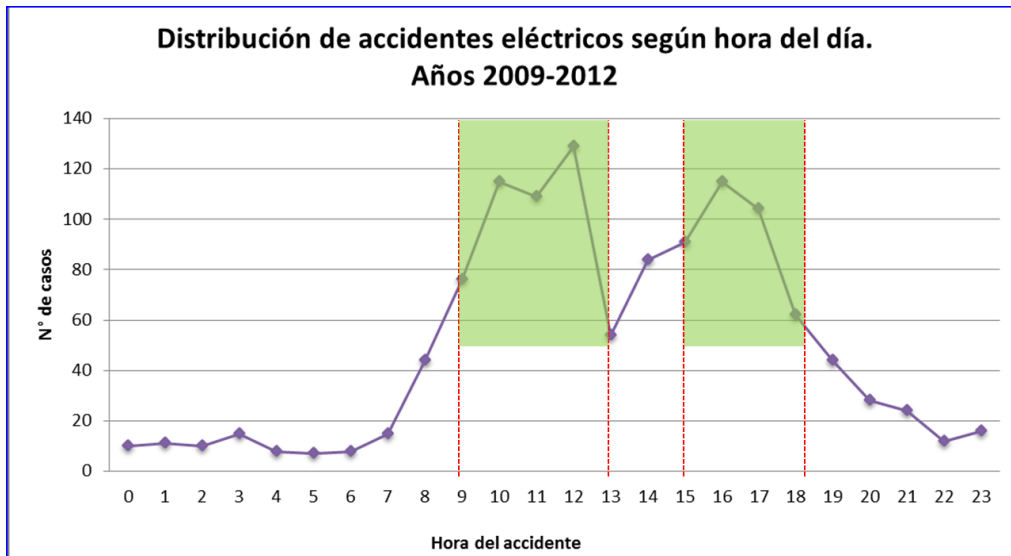


Figura 49: Distribución horaria de accidentes eléctricos
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

La distribución por edad muestra una prevalencia de casos entre los 20 y 29 años (figura 50). Luego, la distribución por parte del cuerpo quemada muestra un mayor número de casos y DP en manos y dedos, y lesiones generalizadas en el cuerpo humano por contacto con la energía eléctrica (figura 51).

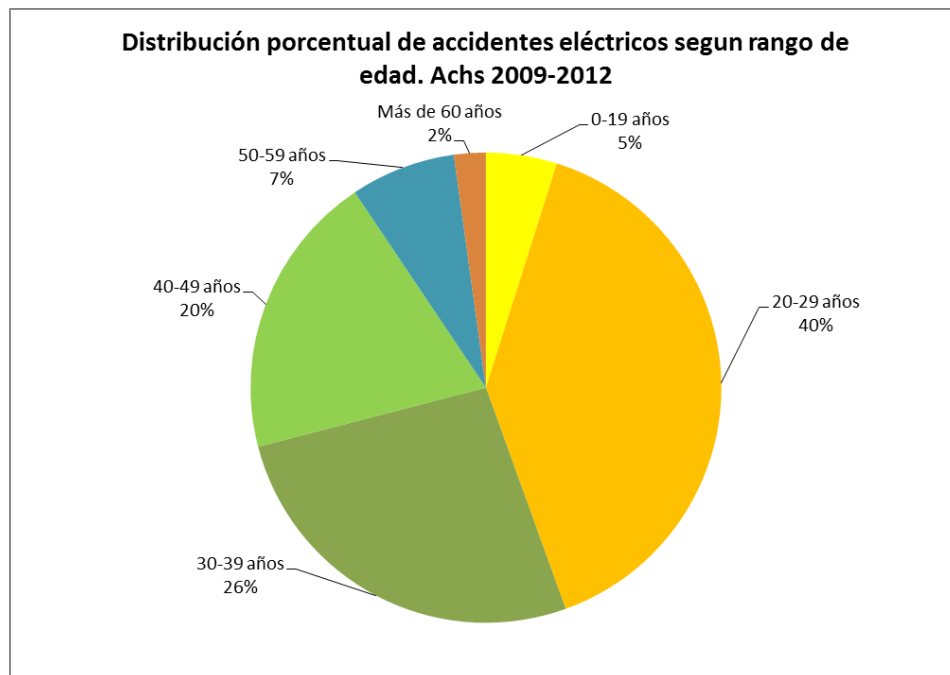


Figura 50: Distribución porcentual de accidentes eléctricos por rango de edad
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

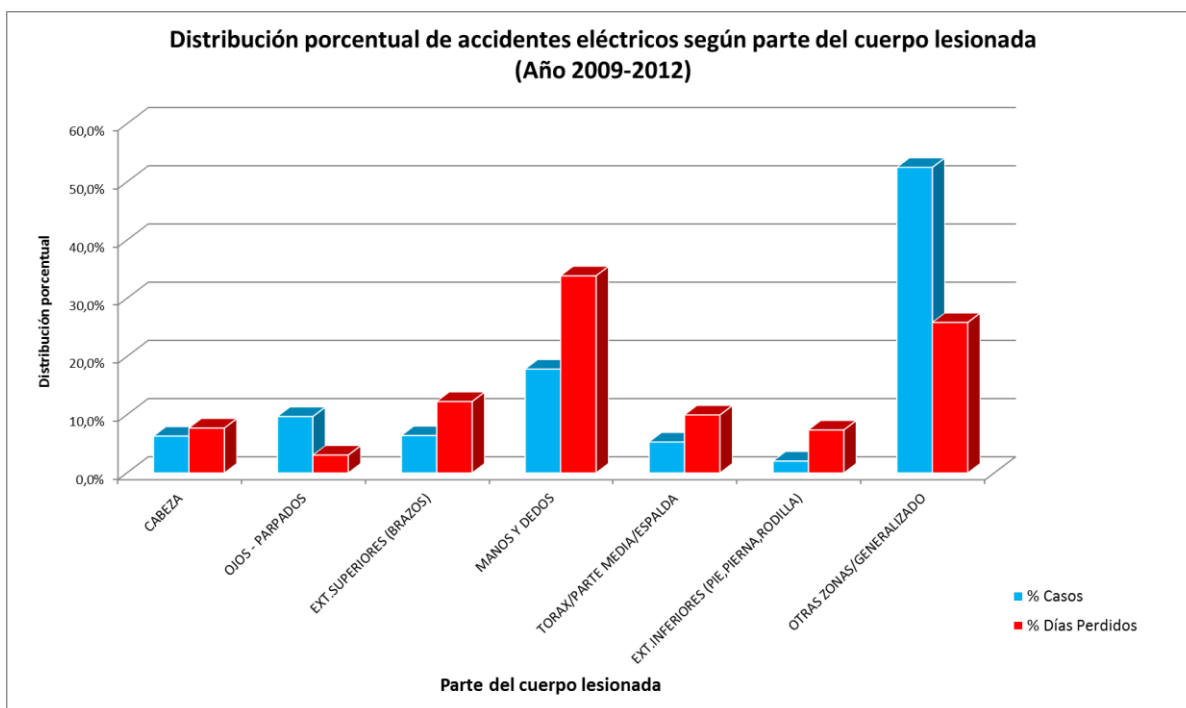


Figura 51: Distribución porcentual de accidentes eléctricos según parte del cuerpo lesionada
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

5.5 Estadísticas relacionadas con quemaduras de origen eléctrico

El análisis específico de las quemaduras eléctricas obedece a uno de los principales problemas presentados al inicio del presente estudio y tiene que ver con el desconocimiento generalizado y la nula o ineficaz identificación del riesgo del arco eléctrico, respecto a las lesiones térmicas derivadas de contactos con energía eléctrica y su enfoque preventivo concreto. En este sentido, variadas normativas que apuntan a la seguridad eléctrica en los últimos años han propuesto métodos de cuantificación del riesgo térmico de la energía eléctrica. En Chile, de acuerdo a lo señalado por el Dr. Ricardo Roa, Médico Jefe de Cirugía Plástica y Quemados de Hospital de Trabajador (HT) de ACHS, sobre el 50% de las amputaciones que se efectúan en este recinto son por causas eléctricas, con el mecanismo de lesión de quemaduras por contacto directo y por arco voltaico como el principal factor relacionado. En la misma línea, al levantar datos del libro de ingresos de CPQ (Cirugía Plástica y Quemados de HT de ACHS) [26], junto con estadísticas internas del Hospital del Trabajador [27], se tiene los siguientes datos generales.

El mayor número de ingresos a la Unidad CPQ es por quemaduras (sobre un 50%), de acuerdo a figura 52. Respecto a la distribución de quemaduras en el

período 2009-2012, sitúa a las quemaduras de origen eléctrico en alrededor del 13% de ingresos (figura 53) [26].

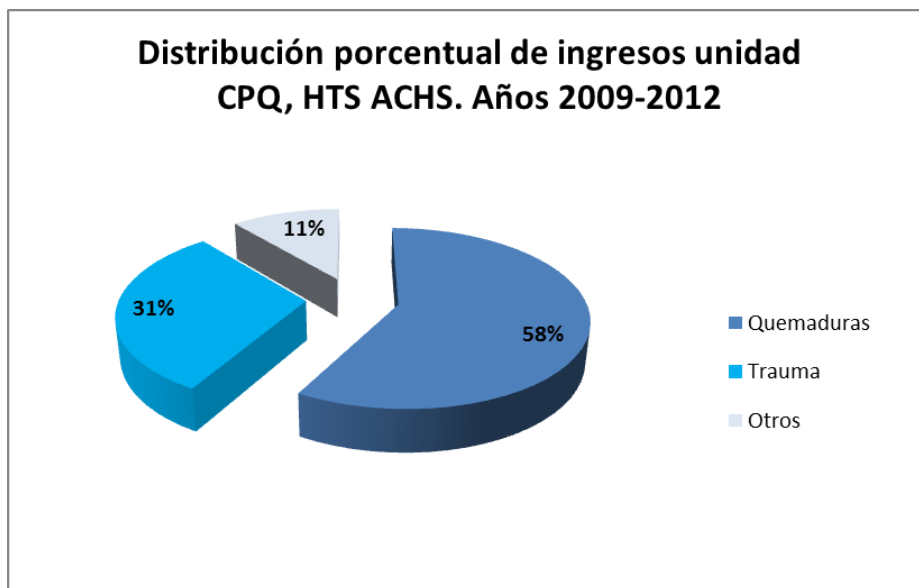


Figura 52: Distribución de ingresos Unidad CPQ
Fuente: HT Unidad CPQ [26]. Elaboración propia.

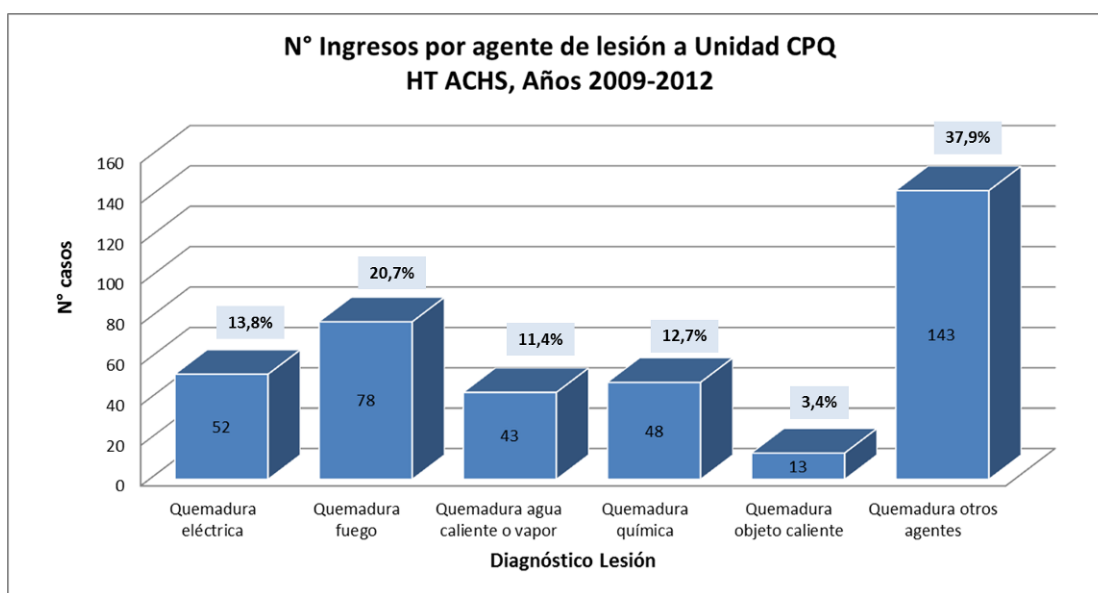
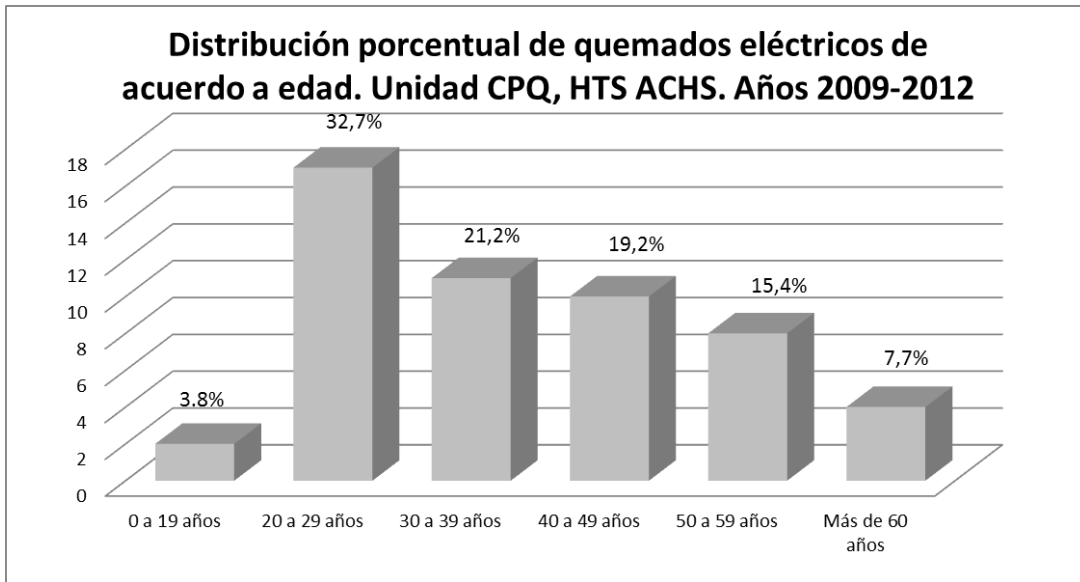
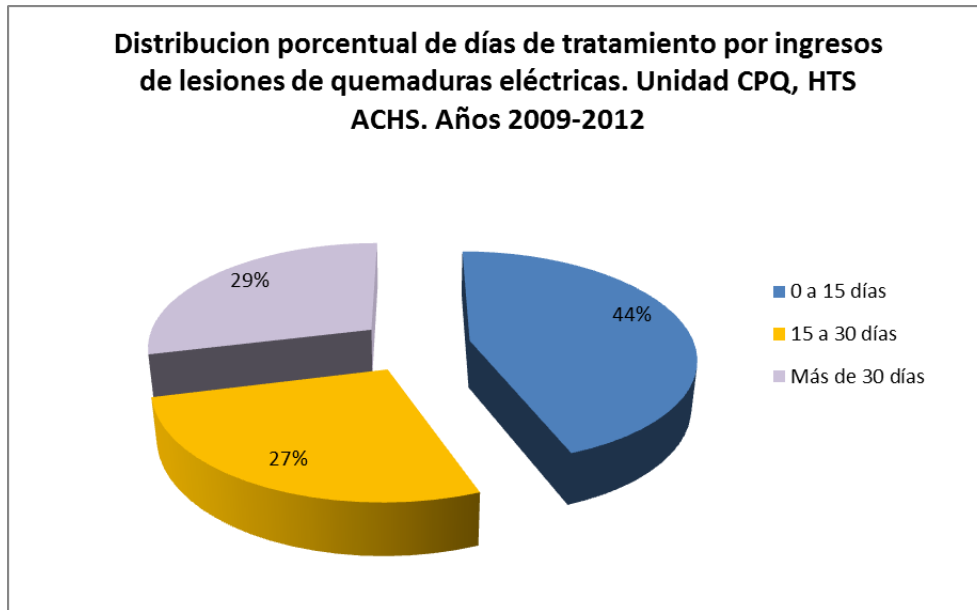


Figura 53: N° ingresos de acuerdo al agente de quemadura
Fuente: HT Unidad CPQ [26]. Elaboración propia.

El 96% de las quemaduras eléctricas se relacionan con el sexo masculino [26], dado que generalmente son los hombres jóvenes los que desempeñan oficios de mayor riesgo eléctrico, siendo la edad de 20 a 29 años la más afectada seguida por el rango de 30 a 39 años (figura 54). El 56% de los casos implica una estadía en el centro de atención mayor a 15 días (figura 55).

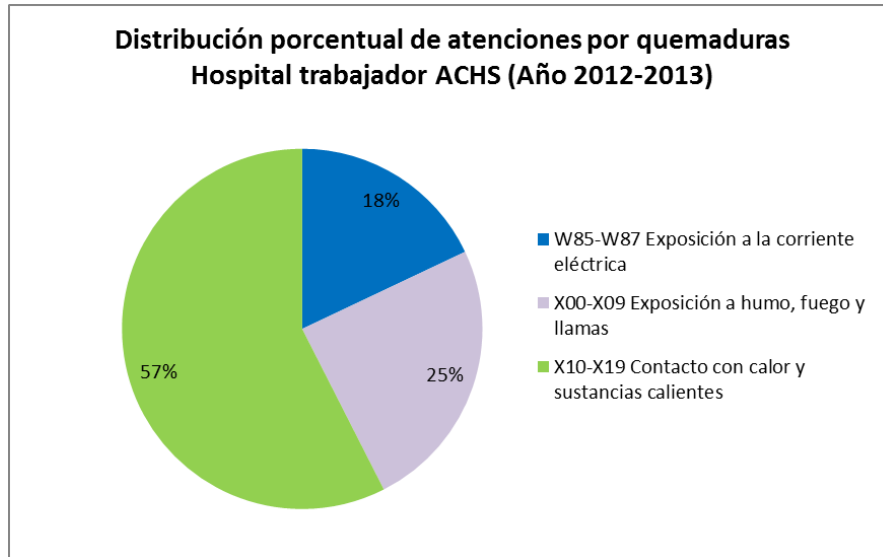


*Figura 54: N° ingresos de acuerdo al agente de quemadura
Fuente: HT Unidad CPQ [26]. Elaboración propia.*



*Figura 55: Distribución porcentual de Días de Tratamiento
Fuente: HT Unidad CPQ [26]. Elaboración propia.*

Una segunda base de datos de HT, para el período 2012 y 2013 [27], arroja la distribución porcentual de lesiones por quemaduras, de acuerdo a su origen (clasificación CIE-10). En este período, el número de atenciones por lesiones de quemaduras de origen eléctrico ascendió a 30 con 787 días de estadía hospitalaria, representando el 18% de los casos de atención por quemaduras.



*Figura 56: Distribución porcentual de atenciones por quemaduras
Fuente: HT Unidad Gestión Clínica [27]. Elaboración propia.*

Luego, al analizar sólo las lesiones de origen eléctrico (figura 57), en función de los días de tratamiento, se puede observar que un 67% de los casos corresponden principalmente a la lesión por quemadura, la que a su vez refleja como procedimiento principal la amputación de las partes afectadas (41% de días de tratamiento, 34% de los costos) [27]. De acuerdo al grado de la quemadura en relación al número de casos (altas brutas), principalmente se presentan las de 2° grado y le siguen las de 3^{er} grado, es decir, lesiones muy graves (figura 58). Del mismo modo, al comparar la distribución en relación a la gravedad de las lesiones (factor de días de tratamiento), se tiene que las de 3^{er} grado representan el 72% de los días de tratamiento (figura 59) [27].

Distribución de días de tratamiento según diagnóstico de lesiones por contacto eléctrico y principal tratamiento de lesión por quemaduras.
Año 2012-2013 HT ACHS

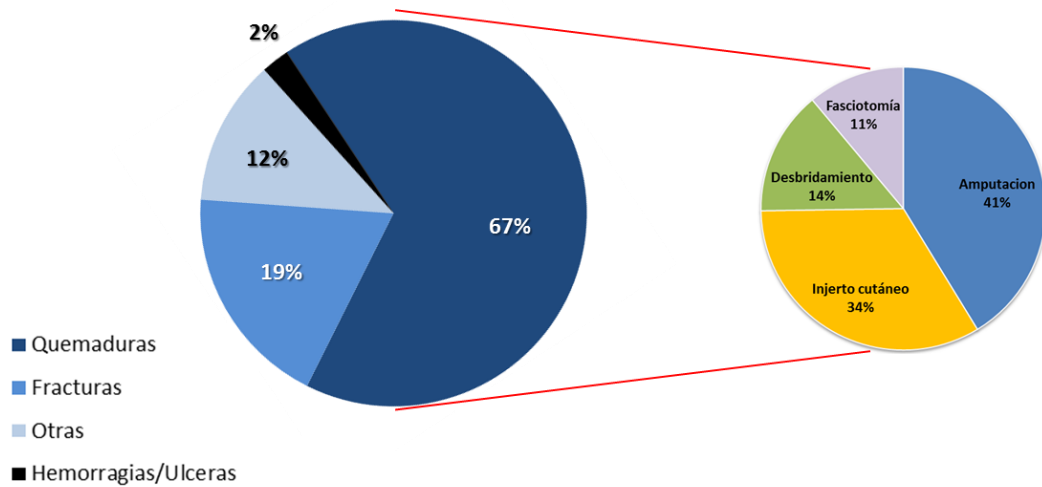


Figura 57: Distribución porcentual de tratamiento de las lesiones de quemaduras eléctricas²³.
Fuente: HT Unidad Gestión Clínica [27]. Elaboración propia.

²³ **Nota. Desbridamiento:** aseo quirúrgico que consiste en la eliminación del tejido muerto, dañado o infectado para mejorar la salubridad del tejido restante. **Fasciotomía:** procedimiento quirúrgico donde se corta la estructura de tejido para aliviar la tensión o la presión.

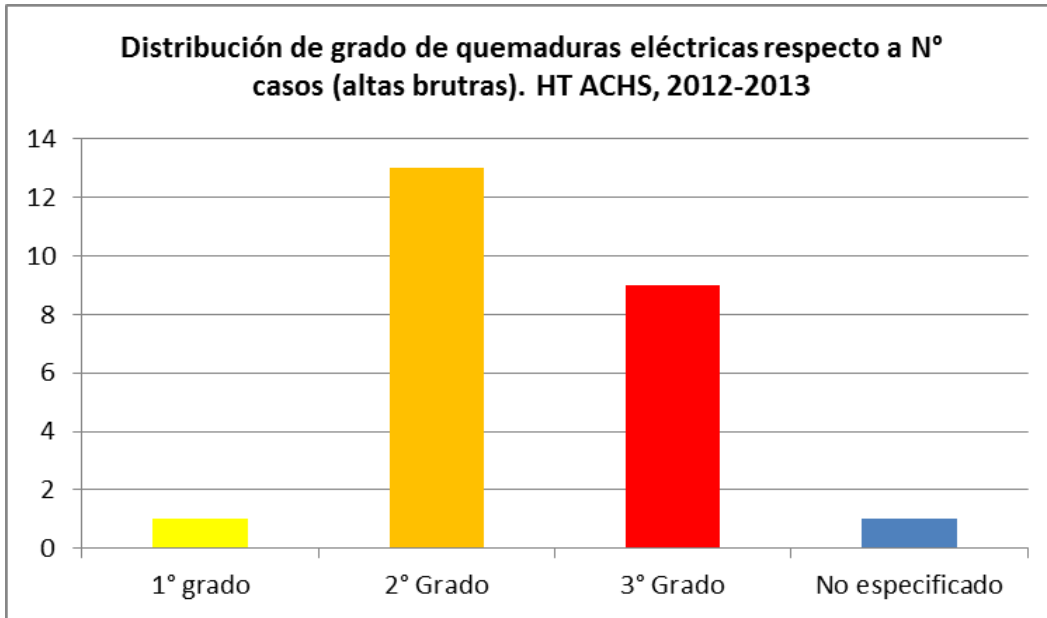


Figura 58: Distribución del grado de quemaduras eléctricas. Fuente: HT Unidad Gestión Clínica [27]. Elaboración propia.

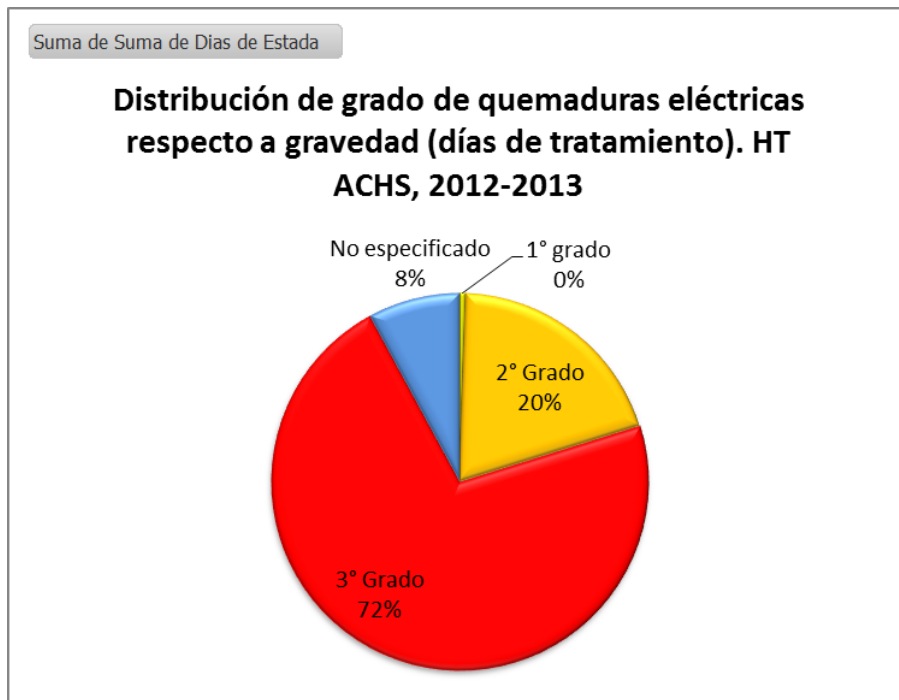


Figura 59: Distribución del grado de quemaduras eléctricas respecto a la gravedad. Fuente: HT Unidad Gestión Clínica [27]. Elaboración propia.

Las partes del cuerpo afectadas de acuerdo a número de casos, se distribuye principalmente en manos y muñeca. Le siguen las quemaduras en cabeza y cuello, lo que significa principalmente quemaduras por arco eléctrico en esta zona (figura 60). Finalmente, al analizar el grado de quemaduras relacionadas con las principales partes del cuerpo afectadas (manos y muñeca -sobre un 54% de casos-), se tiene las lesiones de 3er grado como las más gravitantes (figura 61).

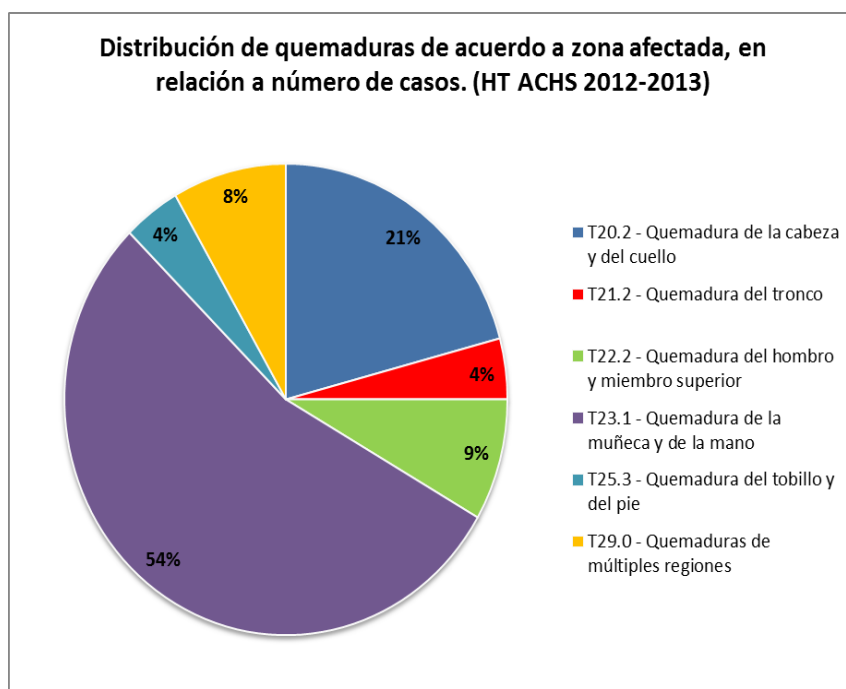


Figura 60: Distribución de quemaduras de acuerdo a zona del cuerpo afectada.
Fuente: HT Unidad Gestión Clínica [27]. Elaboración propia.

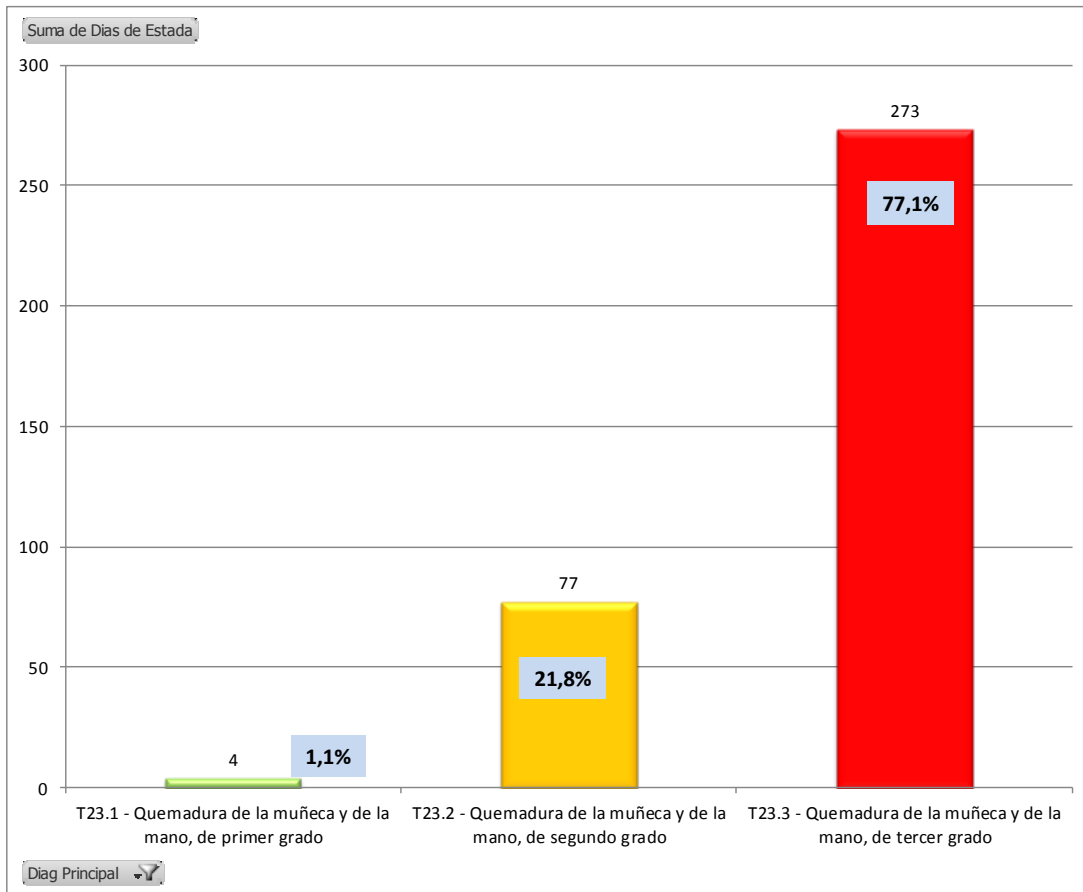


Figura 61: Distribución de casos según grado de quemaduras en manos y muñeca.
 Fuente: HT Unidad Gestión Clínica [27]. Elaboración propia.

5.6 Costos de los accidentes eléctricos

Para determinar el costo general de los accidentes eléctricos para el sistema mutual en ACHS, se han considerado tres aspectos básicos:

- Accidentes con y sin tiempo perdido (con o sin licencia médica)
- Costo por prestaciones médicas (relacionadas con los gastos hospitalarios, médicos e insumos)
- Costo por prestaciones económicas (indemnizaciones por pérdida de capacidad de ganancia; por ejemplo, en una amputación de extremidades)

De acuerdo a los análisis internos en ACHS (Gerencia Planificación y Control de Gestión, año 2012), relacionado con establecer un valor promedio de costo de un accidente del trabajo, considerando accidentes con tiempo perdido y primeras prestaciones (accidentes sin tiempo perdido), se ha estimado el valor unitario de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 14: Promedio estimado del valor de los accidentes del trabajo para el año 2012.

Fuente: Gerencia Planificación y control gestión ACHS.

Ítem	STP	CTP
Valor unitario accidente (\$ pesos)	332.334	746.154

A partir de estos valores genéricos (promedio), se puede estimar los costos de los accidentes eléctricos, de acuerdo a las cifras presentadas en la tabla N° 15. Cabe señalar que no se considera los costos específicos relacionados a accidentes fatales, los cuales pueden ascender a valores muy superiores. Se aprecia que en los 4 años de estudio, los costos totales por accidentes eléctricos ascienden a un valor por sobre los 700 millones de pesos (USD\$1.190.000). Datos más específicos del Hospital del Trabajador (años 2012 y 2013), para el caso de lesiones por quemaduras, indican que el número de atenciones hospitalarias de lesiones por accidentes por contacto con energía eléctrica fue de 31 con un número de 886 días de estadía en centro hospitalario, con un costo sobre los 360 millones de pesos (550 mil USD) y un valor promedio por atención de USD \$17.000, lo que representa el 19% de los costos totales de atención por el ítem de quemaduras [27]. De acuerdo a investigaciones en EE.UU., las quemaduras y lesiones por descargas eléctricas representaron casi el 13% de todos los costos de siniestros médicos, sólo superada por las relacionadas con traumatismos, las que a su vez representan un mayor porcentaje de lesiones totales (38%). El costo promedio en este país por cada lesión relacionada con la energía eléctrica fue de USD\$14.000 [28] (costo promedio para Chile de USD\$17.000).

Tabla 15: Costo promedio de accidentes eléctricos.
Fuente: SAGIP – Gerencia de Planificación ACHS [25]. Elaboración propia.

Detalles	Año 2009		Año 2010		Año 2011		Año 2012		Total año 2009-2012
Acc."Contacto con energía eléctrica"	297		295		273		328		866
Tipo accidente (CTP / STP)	CTP	STP	CTP	STP	CTP	STP	CTP	STP	
Total accidentes CTP / STP	211	86	185	110	183	90	209	119	
Total Costo anual (ACHS) \$pesos	\$186.019.218		\$174.595.230		\$166.456.242		\$195.493.932		\$722.564.622

5.7 Estadísticas operacionales de accidentes eléctricos

El análisis presentado a continuación tiende a clasificar las sub-categorías de los accidentes eléctricos, a través de relatos de casos y perfil del afectado, contrastando con restantes bases estadísticas de salud e informes de investigaciones de accidentes disponibles en los sistemas de administración de la información en ACHS. Para el caso de la sub-clasificación de accidentes por choque eléctrico respecto a los de relámpago, se respalda la clasificación de acuerdo a relato, tipo de contacto, grado de lesiones y sistema eléctrico donde el afectado sufre el contacto. Además, se debe tener presente que en determinados casos, los efectos del shock y relámpago de arco son combinados, especialmente en niveles de media y alta tensión [4]-[7].

La distribución porcentual de casos de accidentes por choque eléctrico respecto a los de arco se presenta en la figura 62 y tabla 16. Se aprecia que un 75% de los casos para el período de estudio, son del tipo accidente por choque eléctrico y el restante 25% por relámpago de arco.

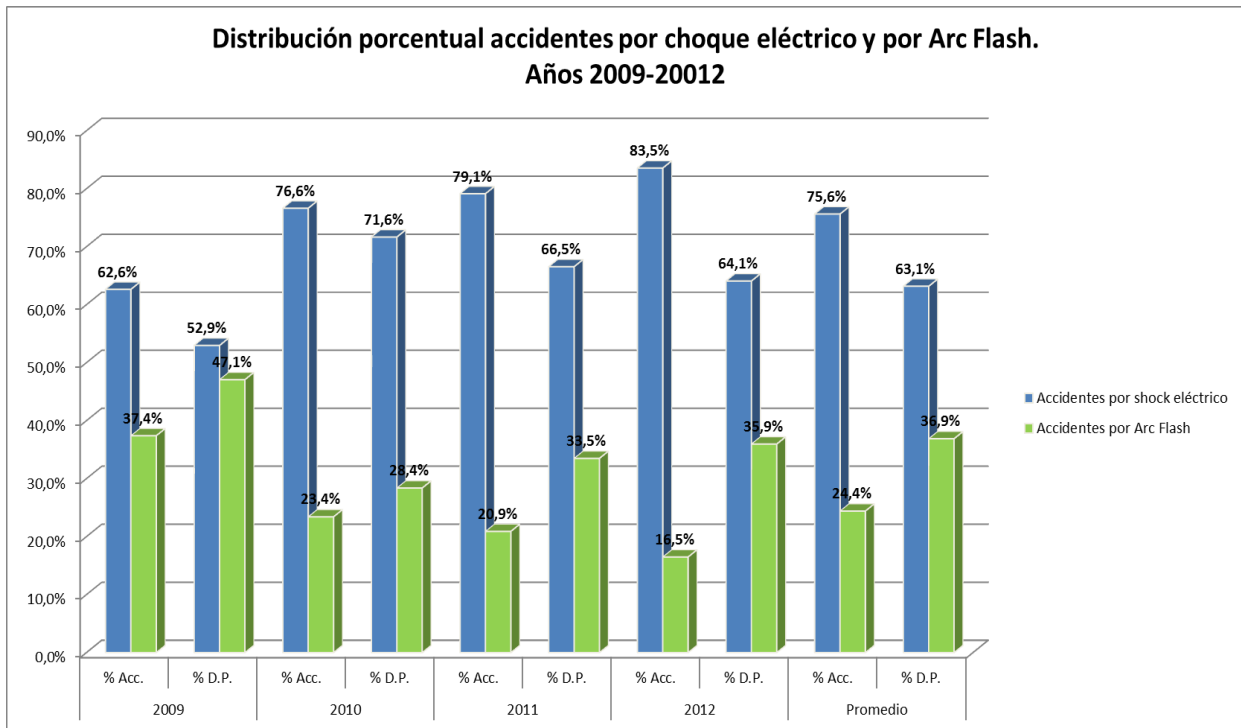


Figura 62: Distribución porcentual de accidentes por choque y relámpago de arco
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Tabla 16: Número de accidentes eléctricos y sub-clasificación
 Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

	2009		2010		2011		2012		Total		Porcentual	
	N° Acc.	D.P.	N° Acc.	D.P.	N° Acc.	D.P.	N° Acc.	D.P.	N° Acc.	D.P.	N° Acc.	D.P.
Accidentes TOTAL	297	4731	295	3897	273	3615	328	3191	1193	15434		
Accidentes por shock eléctrico	186	2505	226	2792	216	2405	274	2044	902	9746	75,6%	63,1%
Accidentes por Arc Flash	111	2226	69	1105	57	1210	54	1147	291	5688	24,4%	36,9%

5.7.1 Análisis de accidentes graves

Al analizar en específico los accidentes graves, como se señaló anteriormente, éstos representan tan sólo el 16,8% de los casos, sin embargo, esto equivale al 78% de los DP del período de estudio, lo que reafirma los análisis anteriores respecto a la gravedad de los casos de accidentes eléctricos. Este nuevo grupo de estudio, se distribuye entre el choque eléctrico y relámpago de arco según como se muestra en la figura 63 en relación al % de DP y % de accidentes. Los resultados posteriores se centrarán en esta población en estudio. Un caso especial de comparación se tiene al observar los casos de accidentes graves que han afectado a personal electricista. La distribución porcentual mostrada en la figura 64, respecto a accidentes por choque y relámpago de arco, muestra que se incrementan en 6 puntos los casos de accidentes por relámpago de arco, llegando a un 34% de los casos.

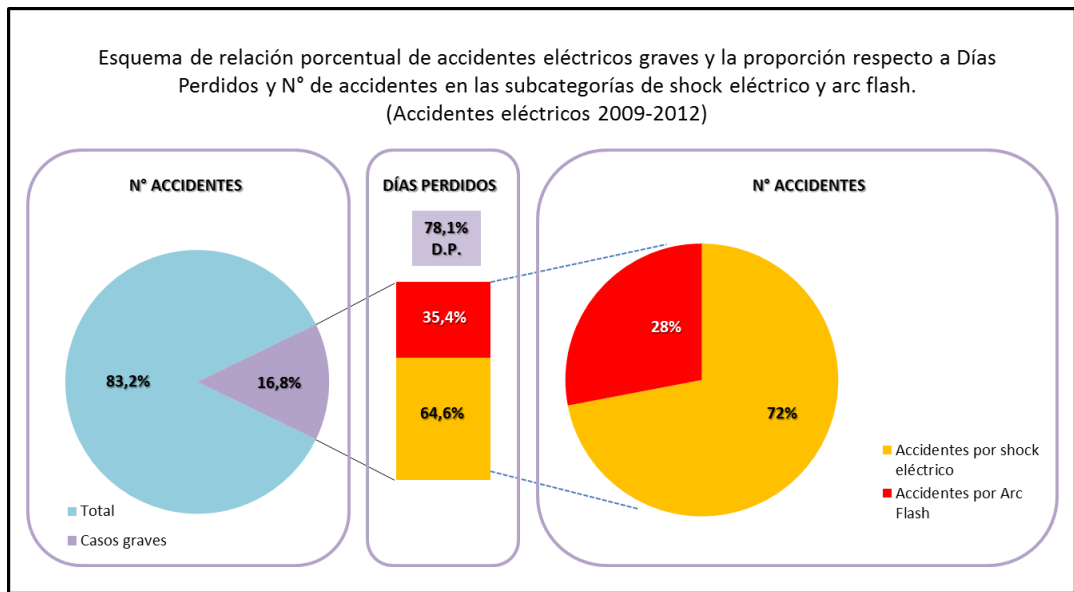


Figura 63: Distribución de accidentes graves y sub-clasificación
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

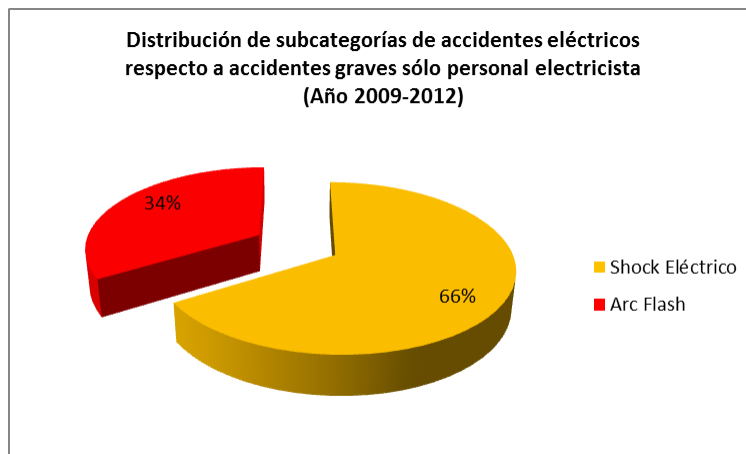


Figura 64: Distribución de sub-categoría de accidentes eléctricos graves y sub-clasificación, considerando sólo personal electricista. Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Para clasificar el grupo de agentes de accidentes eléctricos, se utiliza el criterio de las principales causas agrupadas por tipo de instalación eléctrica, de acuerdo a BLS (Oficina de Estadísticas Laborales de EE.UU.), recopilada por ESFI (Fundación Internacional de Seguridad Eléctrica por sus siglas en inglés) [29]. La distribución porcentual de accidentes graves se muestra en la figura 65, mientras que la descripción es la siguiente:

- **Instalaciones fijas nivel usuario;** aquellas instalaciones esencialmente de baja tensión, pero que son utilizadas a nivel usuario, es decir, cualquier persona que utilice las instalaciones eléctricas como parte de su labor diaria: por ejemplo; utilizar un artefacto en mal estado, operar un enchufe descompuesto, cambiar una ampolleta.
- **Instalaciones fijas en Baja, Media o Alta Tensión:** estas incluyen subestaciones, maquinarias, motores, tableros eléctricos y equipos de procesos donde normalmente el personal que es afectado tiene relación con mantenimientos eléctricos o mecánicos y/o su perfil tiene que ver con la operación de maquinarias (generalmente en la industria).
- **Instalaciones eléctricas aéreas o subterráneas de distribución o transmisión.** Referidas principalmente a aquellas relacionadas con líneas eléctricas de baja o media tensión, donde personal calificado (linieros, por ejemplo) cometen errores en la operación del sistema eléctrico. También ocurren accidentes eléctricos a personal no calificado (obreros, jornales, pintores, o cargos no eléctricos), los que acortan distancia a las instalaciones eléctricas haciendo contacto con éstas.
- **Indeterminadas:** aquellas donde los antecedentes no fueron suficientes para establecer el tipo de agente.

Por otro lado, la clasificación de las fuentes obedece al tipo de trabajo que se realiza en las instalaciones, según lo mostrado en figura 66. En este caso se adopta el criterio combinado entre las tablas de evaluación de riesgos de NFPA 70E [1] y el del estándar de ABB Internacional [4]:

- Trabajo energizado, directo en conductores incluyendo testeos y ensayos.
- Operaciones para energizar o desenergizar (bloqueo y tarjeteo)
- Trabajo cerca de instalaciones energizadas
- Trabajo eléctricamente seguro o desenergizado

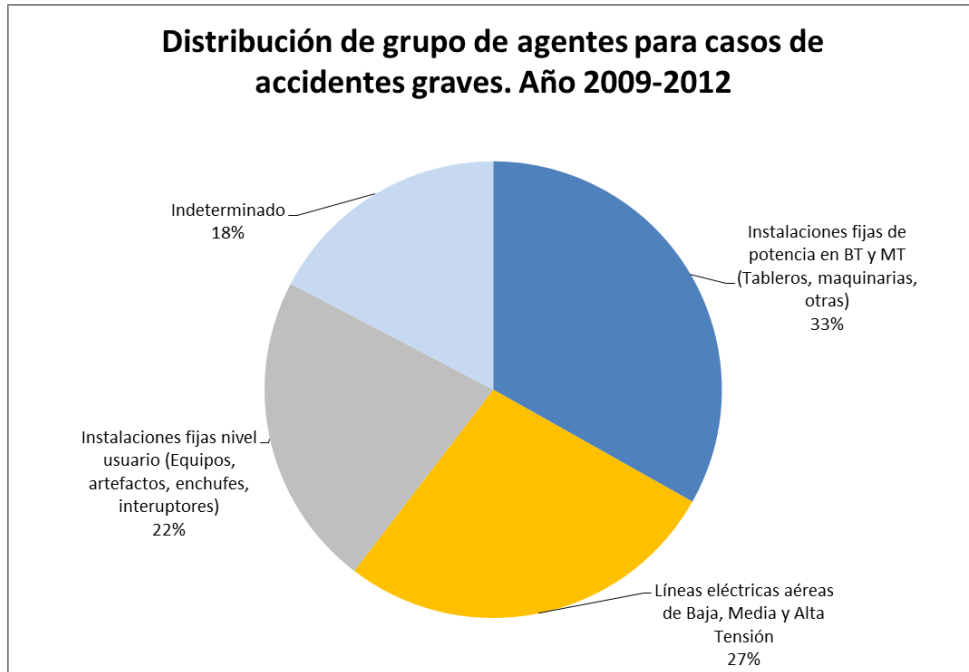


Figura 65: Distribución de grupo de agentes en accidentes eléctricos graves.
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

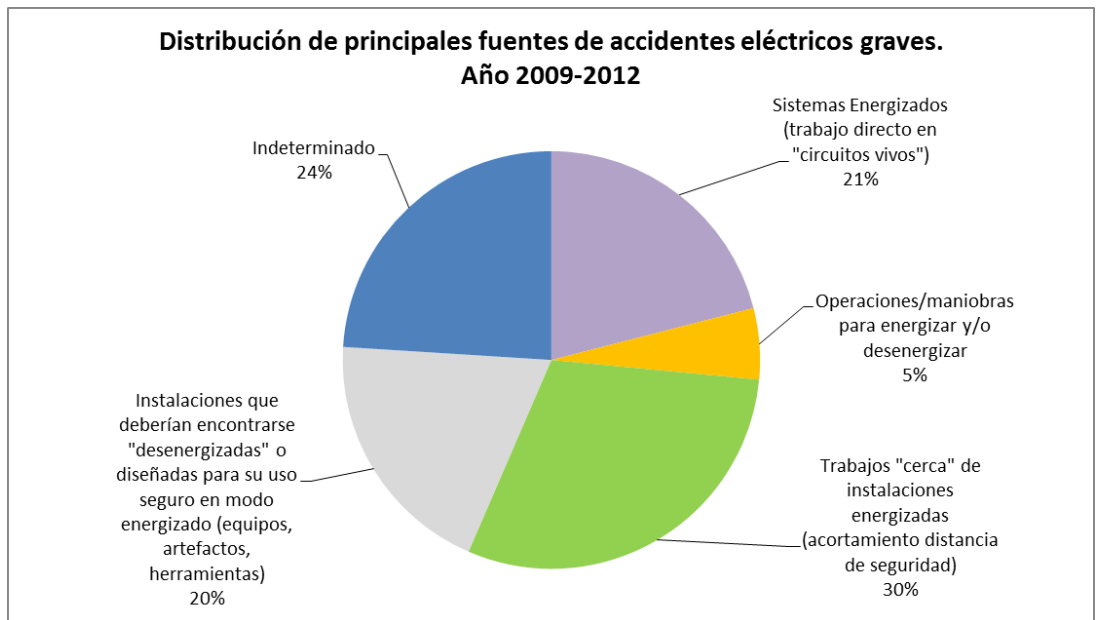


Figura 66: Distribución de principales fuentes en accidentes eléctricos graves.
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

Se aprecia la mayor proporción de casos en instalaciones fijas de potencia, seguido por los accidentes ocurridos en líneas eléctricas, complementario al análisis que indica que la mayor proporción de

accidentes se dan en los trabajos “cerca de instalaciones eléctricas energizadas”. Al relacionar el dato anterior con el indicado en la figura 67, donde el personal más afectado en casos de accidentes graves corresponde a la clasificación de “obreros” (personal no calificado que toma contacto con líneas aéreas), se puede concluir que la mayor proporción de accidentes graves afecta a personal que desconoce el peligro eléctrico, acorta distancia a líneas aéreas y sufre accidentes de consideración, especialmente quemaduras.

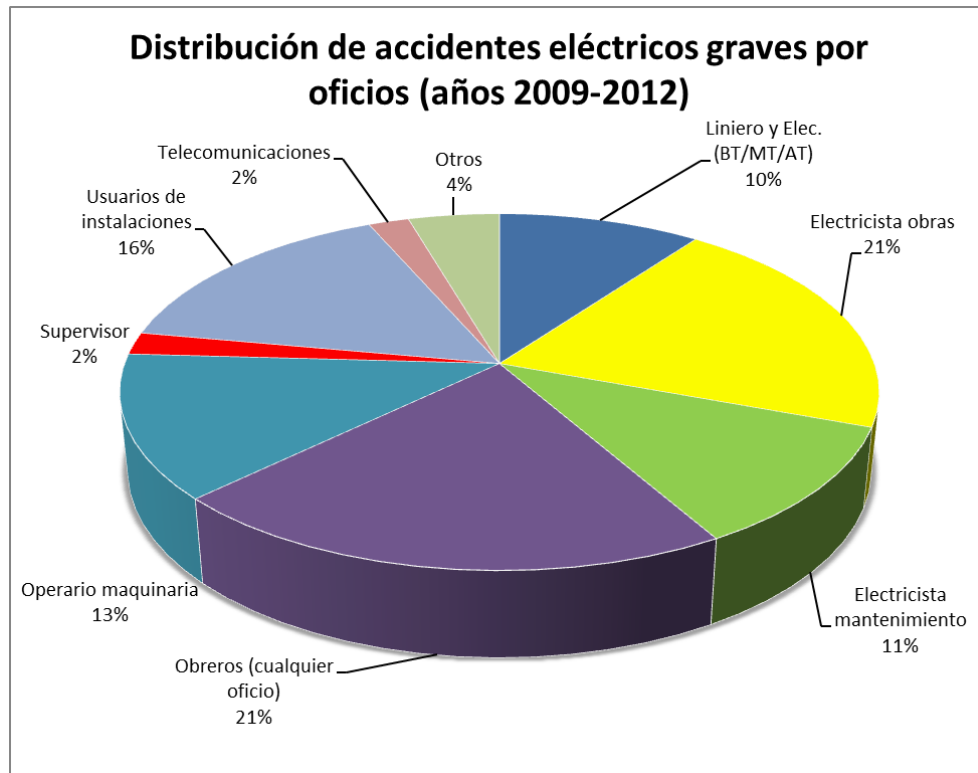
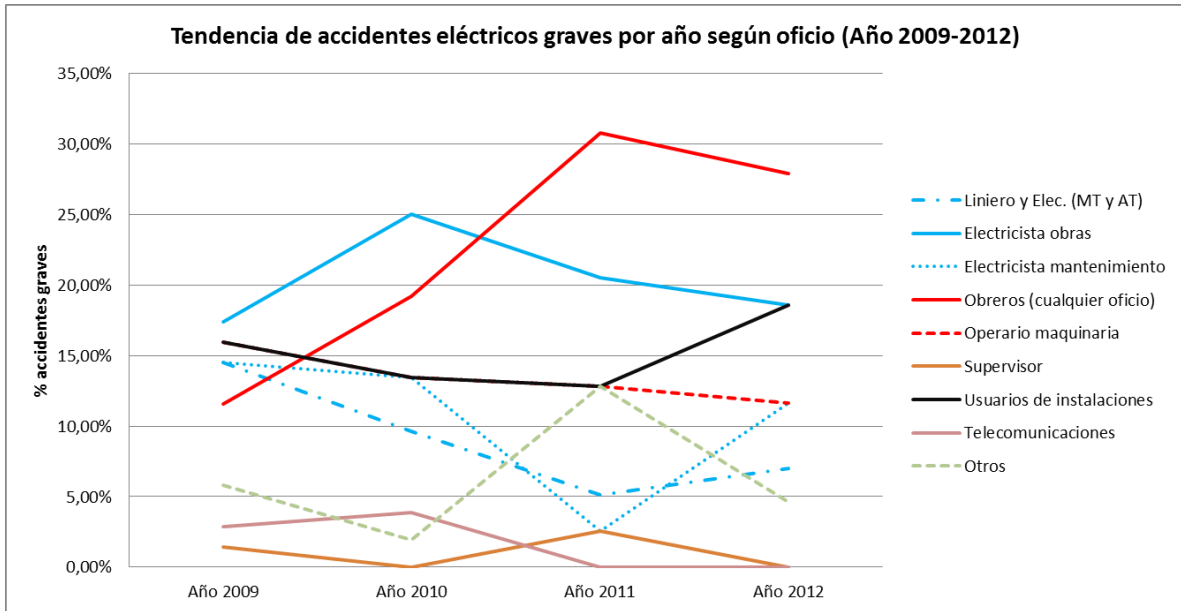


Figura 67: Distribución de accidentes eléctricos de acuerdo a oficios
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.

La curva mostrada en la figura 68, refleja la tendencia a la alza de accidentes eléctricos graves en el oficio “obrero”. Le sigue el personal electricista de obras (construcción, instalaciones provisionales). En tercer lugar se ubican los usuarios de las instalaciones que son afectados en las instalaciones fijas. El caso de liniero ha venido con una baja sostenida en los años de estudio, dada su especialización en el rubro. Cabe señalar, que la agrupación de oficios ha sido confeccionada de acuerdo a grupo de actividades comunes en entorno eléctrico.



*Figura 68: Tendencia de accidentes eléctricos graves de acuerdo a oficio
Fuente: ACHS [25]-Elaboración propia.*

5.8 Datos estadísticos de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles

De acuerdo a lo que se refiere la Ley Orgánica Constitucional, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles tiene por misión vigilar la adecuada operación de los servicios de electricidad, gas y combustibles, en términos de su seguridad, calidad y precio. En función de lo anterior, ante la ocurrencia de eventos en el sistema eléctrico, los accidentes graves y/o fatales deben ser notificados a SEC (además de los servicios de SEREMI de Salud y Trabajo), quien dirime y establece sanciones, responsabilidades y multas a las empresas y/o particulares que transgreden las normas de las instalaciones o trabajos eléctricos, que arrojan como resultados daños a las personas, daño a las instalaciones o fallas en el servicio eléctrico. Principalmente los marcos regulatorios que fiscaliza SEC son:

- **NCH Elec. 4/2003** - Electricidad- Instalaciones de consumo en Baja Tensión. Establece las condiciones mínimas de seguridad que deben cumplir las instalaciones eléctricas de consumo en Baja Tensión.
- **Norma N°5/71**. Reglamento de instalaciones eléctricas de corrientes fuertes. Principalmente referida a la construcción, montaje y operación segura de los sistemas eléctricos en Generación, Transmisión y Distribución Eléctrica.
- **NSEG_20.78**. Electricidad. Subestaciones Transformadores Interiores. Se establecen las condiciones mínimas de seguridad que se deben cumplir durante la construcción, montaje, operación y mantenimiento de las Subestaciones de Transformación que se utilicen para dotar de energía a las instalaciones interiores.

5.8.1 Accidentes graves y/o fatales 2005-2010, según datos SEC

En el período de 6 años (2005-2010), la SEC ha concurrido a eventos, registrando un total de 130 accidentes con consecuencias graves y/o fatales a las personas o con consecuencias hacia las instalaciones y servicios. De estos 130 casos se desprende el resumen indicado en tabla 17 y figura 69. De los 104 accidentes eléctricos que afectaron a las personas, 48 eventos resultaron en fatalidades, mientras que los restantes 56 fueron graves. Entre los 48 eventos fatales se registraron 53 víctimas, dado que algunos de estos accidentes resultaron con más de una víctima fatal (figura 70).

Tabla 17: Distribución de accidentes eléctricos en Chile, fiscalizados por SEC (2005-2010)

Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

Tipo de accidente	N°
Daño a mascotas	3
Incendios y/o daño material	13
Caída del servicio (nivel distribución)	10
Daño a las personas (graves o fatales)	104

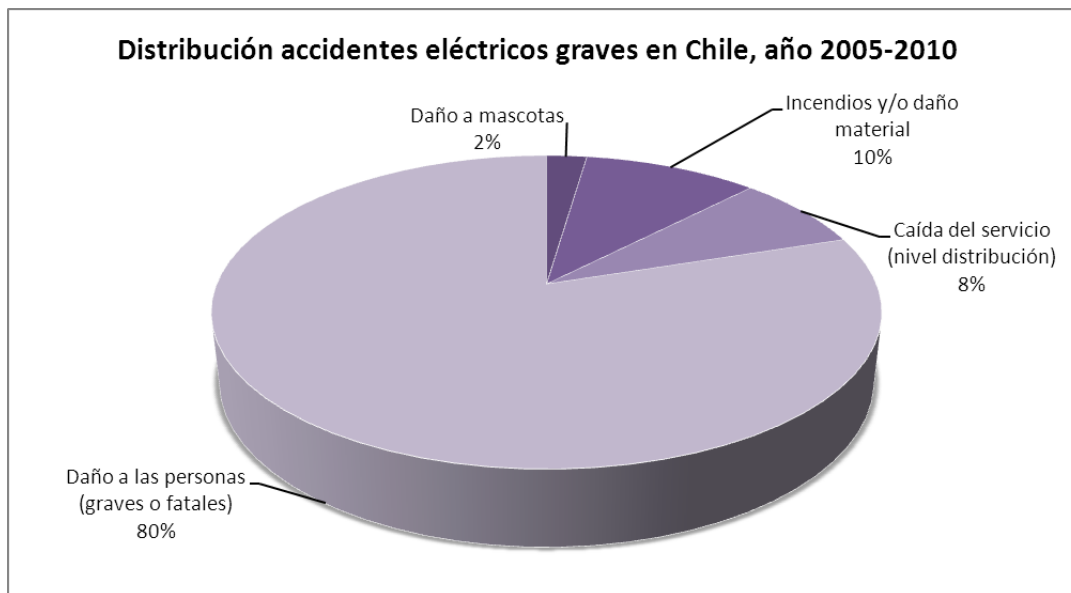


Figura 69: Distribución de accidentes eléctricos graves en Chile fiscalizados por SEC. Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

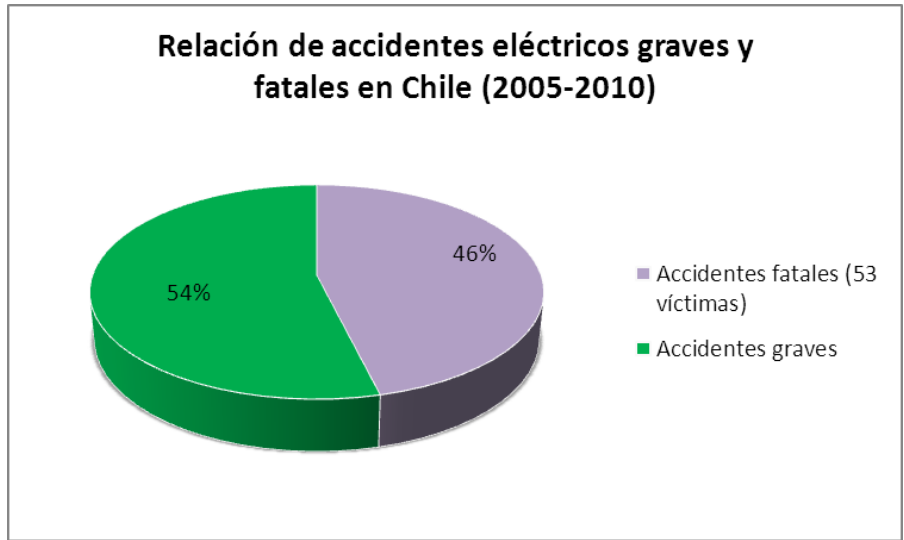


Figura 70: Relación accidentes eléctricos graves y fatales en Chile, fiscalizados por SEC.
Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

Se evidencia que el 63% de estos accidentes se han registrado a nivel domiciliario y el restante 37% son de origen laboral (figura 71). Los 35 accidentes laborales resultaron en 16 fatalidades, 11 casos graves, 3 leves y 5 casos sin información. Cabe señalar que anteriormente cruzando datos de MINSAL e INE, se tenía un 32% de casos de accidentes laborales en el período 2007-2011, muy cercano al 37% de acuerdo a cifras de SEC.

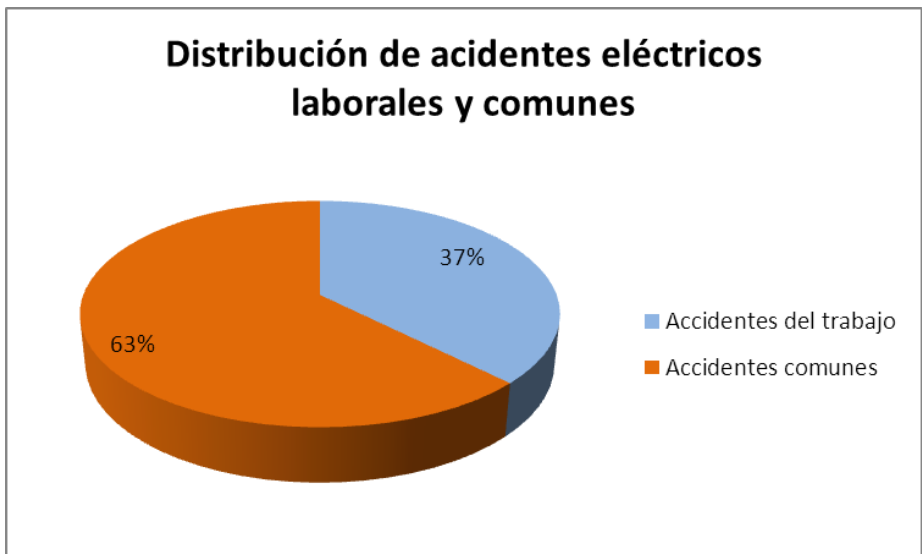


Figura 71: Relación accidentes eléctricos laborales y comunes en Chile (2005-2010) fiscalizados por SEC.
Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

La distribución de acuerdo a niveles de voltaje donde se han registrado los casos de accidentes graves y fatales en el ambiente laboral se distribuye de acuerdo a tabla 18 y figura 72. La mayor proporción se encuentra en niveles de media tensión (típicamente 12 y 23 kV), concordante con la mayor fuente de accidentes eléctricos mostrada en la tabla 19 y figura 73 (contacto con líneas aéreas). Le sigue los accidentes en el nivel “industrial”: contacto con equipos y herramientas en mantenimiento electromecánico, con un 26% de los casos graves y fatales.

Tabla 18: Distribución de accidentes eléctricos según nivel de tensión fiscalizados por SEC (2005-2010).
Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

Nivel de Voltaje o tensión	Fatales	Graves	Leves	SI (Sin Información)	Total
BT (0-1.000 V)	3	4	2	0	9
MT (1.000 – 60.000 V)	9	7	1	0	17
AT (>60.000 V)	1	0	0	0	1
SI (Sin Información)	3	0	0	5	8
Total	16	11	3	5	35

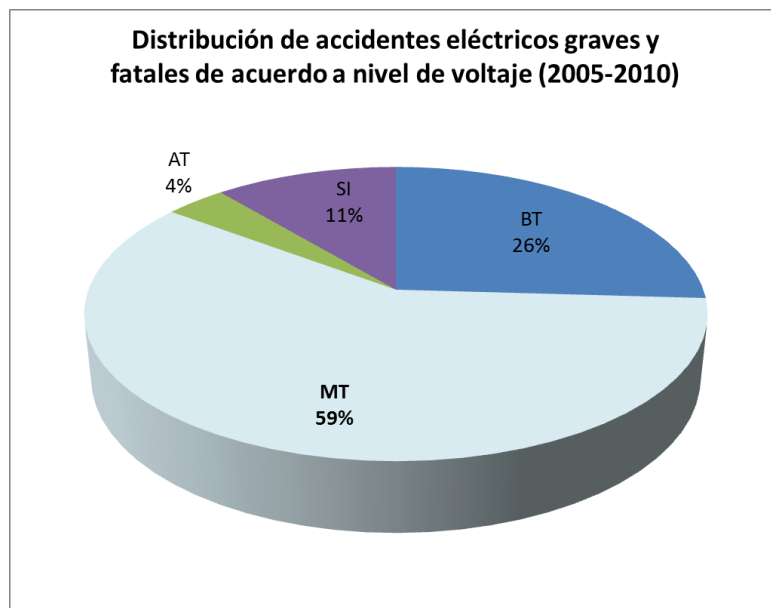


Figura 72: Distribución de accidentes eléctricos de origen laboral graves y fatales según nivel de tensión, fiscalizados por SEC. Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

TABLA 19. Distribución principales causas de accidentes eléctricos de acuerdo a fuente (2005-2010) fiscalizados por SEC. Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

	Tipo de accidente	N° casos accidentes fatales y graves	% casos accidentes fatales y graves
1	Contacto con líneas aéreas	12	44%
2	Contacto con cables, transformadores, otros	5	19%
3	Contacto con equipos y herramientas en mantenimiento electromecánico	7	26%
4	Otros – Sin Información	3	11%
	Total	27	100%

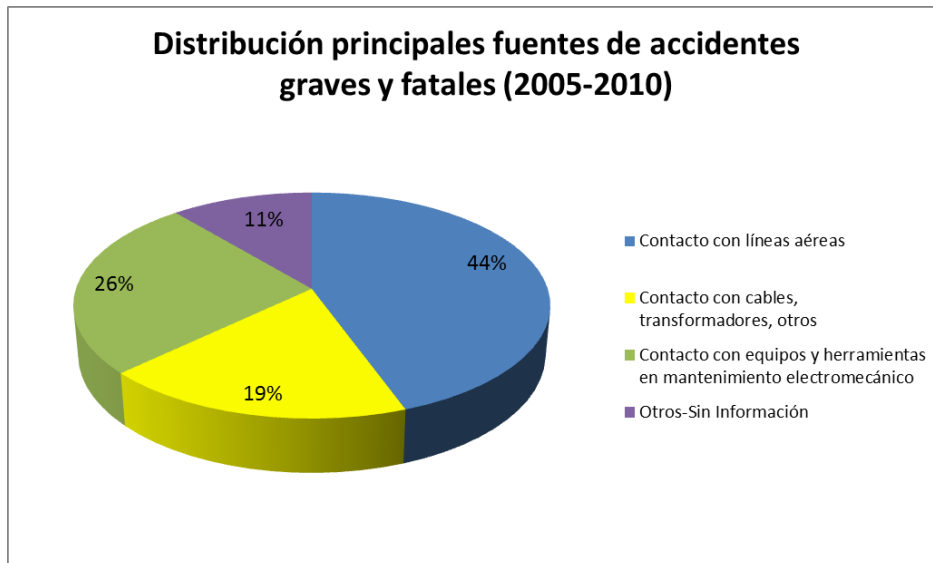


Figura 73: Distribución de fuente de accidentes eléctricos de origen laboral graves y fatales fiscalizados por SEC. Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

Respecto al contacto con líneas aéreas, sólo el 17% de los casos se relaciona a trabajos por parte de empresas eléctricas (linieros u operadores del sistema eléctrico). El restante 83% tiene que ver con el acortamiento de distancia por empresas no relacionadas con el rubro de energía, principalmente la construcción (por faenas contiguas a líneas eléctricas) y empresas industriales (que poseen instalaciones de media tensión dentro de la empresa). El grupo de contacto con equipos/herramientas/instalaciones, se refiere a las situaciones que afectan principalmente al nivel usuario de instalaciones o equipos, en gran parte debido a fallas o falta de protecciones eléctricas adecuadas

(protecciones diferenciales, tierra de protección, aislamiento, etc.) El caso de los sistemas de potencia (transformadores, subestaciones), tiene que ver con trabajos especializados en los sistemas eléctricos, que afectan principalmente a electricistas de potencia (linieros, técnicos de subestaciones, entre otros).

5.8.2 Pérdida de suministro eléctrico, según datos SEC

Otra estadística desprendida de la información obtenida desde la SEC, dice relación con la pérdida de servicio debido a incidentes de diversa naturaleza (figura 74). Sobre un 60% de los casos corresponde a choque de vehículos con postes de distribución eléctrica, y casi un 17% de los casos por choque de vehículos y tirantes de postes. Otro incidente relevante son aquellos derivados de faenas en propiedades particulares con sobre un 15% de los casos. El cuarto incidente en orden decreciente lo representan aquellos casos en que se realizan trabajos con retroexcavadoras y se interfiere servicios eléctricos soterrados o líneas aéreas.

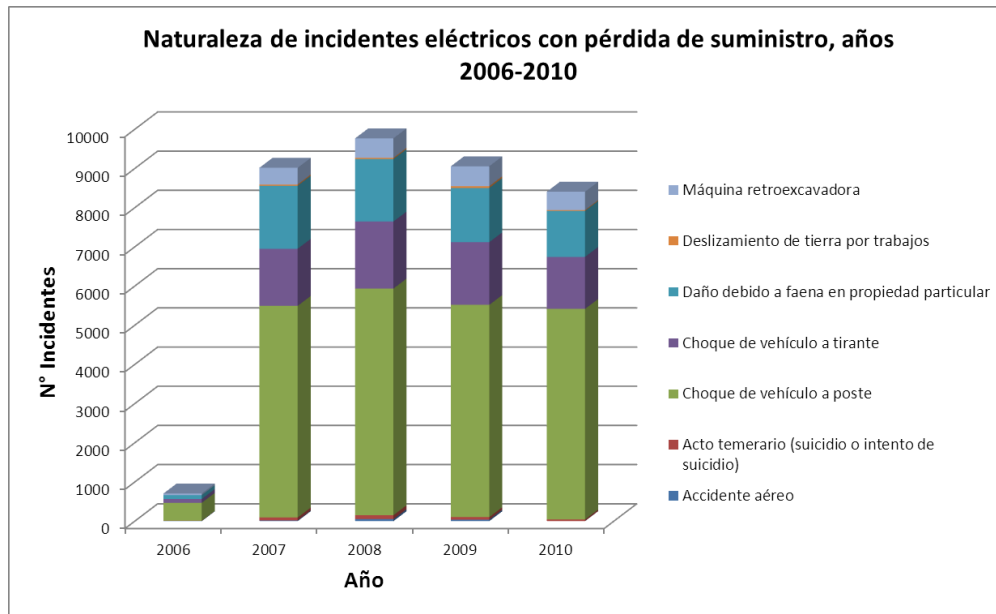


Figura 74: Naturaleza de incidentes eléctricos con pérdida de suministro en Chile (2006-2010). Fuente: SEC- Elaboración propia [31].

5.8.3 Fiscalización por parte de SEC del estado de las instalaciones eléctricas

El siguiente análisis se centra principalmente en los requisitos de seguridad eléctrica establecidos en los cuerpos legales vigentes en Chile. En este sentido, la SEC establece un programa de fiscalizaciones, a cargo de un equipo de inspectores, el cual arroja resultados bastante notorios respecto a la cantidad de instalaciones que son rechazadas por no cumplir las normativas vigentes. Dicha situación constituye un peligro importante para la seguridad de las personas, instalaciones y servicio. A continuación se muestra los valores de rechazo en la fiscalización.



Tabla 20. Fiscalizaciones de instalaciones por parte de SEC, % de rechazo por no cumplimiento normativo (2009-2011) [32].

Año	Total fiscalizaciones	Rechazadas	% Rechazo
2009	1789	1348	75,3%
2010	3127	2252	72,0%
2011	2814	1822	64,7%

En relación a los requisitos normativos, la SEC encargó un estudio privado sobre el actual estado de las instalaciones eléctricas en Chile [32], éste se orienta en los principales aspectos técnicos que son requisitos para establecer que una instalación eléctrica es segura o presenta un nivel de riesgo bajo, basada en el peligro para la vida humana y bienes materiales que genera el incumplimiento de cada uno de los elementos sometidos a revisión, los que forman parte de los check list de presentación de proyectos. La SEC establece el grado de criticidad respecto a desviaciones normativas en tres niveles para un listado de requisitos de la norma NCH-ELEC 4/2003, de acuerdo al riesgo que representa para los usuarios y para las propias instalaciones.

En el presente estudio se establece un criterio adicional relacionado con el principal peligro del incumplimiento del requisito, ya sea de contacto eléctrico (nivel de peligro para las personas) o de incendio (nivel de peligro para las instalaciones, indirectamente también para las personas). Los requisitos numerados desde el 23 al 25 son criterios específicos a partir del presente estudio (no forman parte de los check list de la SEC).

Tabla 21. Criticidad y principales requisitos de seguridad eléctrica establecidos por SEC.

		Defectos muy graves: Criticidad = 3	Defectos graves Criticidad = 2	Defectos medios Criticidad = 1
N°	Requisito Normativo	NR SEC	Principal Peligro	
			Contacto eléctrico	Incendio
1	NCH-ELEC 4/2003, Punto 11.1.1.2: Circuitos de enchufes disponen de protecciones diferenciales	3		
2	NCH-ELEC 4/2003, Punto 11.1.1.2: Protecciones diferenciales operan correctamente	3		
3	NCH-ELEC 4/2003, Punto 10.0.1 - 10.2.1.- 10.2.2: La instalación cuenta con tierra de protección	3		
4	NCH-ELEC 4/2003, Punto 7.1.2.- 7.1.2.1.-: Empalme cuenta con protección disyuntor automático	3		
5	NCH-ELEC 4/2003, Punto 7.1.1.2: La sección de los conductores de los alimentadores (y/o tramo desde medidor a tablero principal) queda protegida por la capacidad del disyuntor correspondiente.	3		
6	NCH-ELEC 4/2003, Punto 10.0.1-10.1.1: La instalación cuenta con tierra de servicio (neutro conectado a malla o barra de tierra)	2		
7	NCH-ELEC 4/2003, Punto 6.1.1.3: La instalación cuenta con tablero de distribución	2		
8	NCH-ELEC 4/2003, Punto 5.4.4.7 - 5.4.4.8 - 6.0.4 - 11.0.3.2: Ubicación del tablero distribución de acuerdo a norma (altura, acceso, señalización, identificación, no contiguo a puesto de trabajo, lugares mojados –baño, cocina-)	2		
9	NCH-ELEC 4/2003, Punto 5.4.2.9: Tablero cuenta con circuitos rotulados y con cuadro indicativo	2		
10	NCH-ELEC 4/2003, Punto 6.2.1.3: Tableros cuenta con puerta exterior/interior. Debe contar con chapa con llave o candado	2		

11	NCH-ELEC 4/2003, Punto 6.0.3.1: Los tableros se ubican en recintos sólo accesible al personal de operación y administración.	2		
12	NCH-ELEC 4/2003, Punto 6.2.2.1: Tableros cuentan con barras de distribución	2		
13	NCH-ELEC 4/2003, Punto 9.1.1.4: Barras protegidas contra contactos directos	2		
14	NCH-ELEC 4/2003, Punto 8.1.1.1 - 8.0.4.15: Conductores se encuentran en buen estado (no se encuentran obsoletos o con aislación dañada, se cumple código de colores)	2		
15	NCH-ELEC 4/2003, Punto 5.4.3.3: Conductores C/terminal de conexión para cables sobre 6 mm ² y alambres sobre 10 mm ² (sin daño secciones inferiores)	2		
16	NCH-ELEC 4/2003, Punto 8.2.0: Canalización se encuentra en buen estado (no se encuentra obsoleta, estado de conservación, conductores no apoyados en materiales combustibles)	2		
17	NCH-ELEC 4/2003, Punto 6.2.4.2 y 10.2.1: Partes metálicas protegidas con tierra de protección contra tensiones peligrosas (tableros metálicos, canalizaciones metálicas, aparatos electrodomésticos)	2		
18	NCH-ELEC 4/2003, Punto 11.0.2.5 - 11.2.12: Enchufes e interruptores se encuentran en buen estado (no presentan sobrecarga u otros hallazgos evidentes)	2		
19	NCH-ELEC 4/2003, Punto 11.5.6: Instalación cuenta con alumbrado de emergencia operativo (potencia instalada superior a 20 kW)	2		
20	NCH-ELEC 4/2003, Punto 5.4.4.6 y 11.2.2: La iluminación de los lugares de trabajo en sectores de instalaciones eléctricas se encuentra de acuerdo a norma (300 lux)	2		
21	DS92: Declaración de instalaciones eléctricas interiores Trámite TE1 por instalador autorizado	1		

22	NCH-ELEC 2/84. Punto 6.2.11: Planos eléctricos (incluidos unilineales)	1		
23	NCH-ELEC 4/2003, Punto 1.2; DS 594 Art. 39: Programa de mantenimiento preventivo	1		
24	NCH-ELEC 4/2003, Punto 1.2; DS 594 Art. 39: Registros de mantenimiento (preventivo/correctivo)	1		
25	Registros de fallas/incidentes (investigación)	1		

A nivel nacional se han estimado 4.857.389 inmuebles, de acuerdo a catastro del SII, donde el 51%, esto es, 2.501.025 instalaciones cuentan con al menos una deficiencia calificada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles como muy grave, y que el 24% (1.183.004) de las instalaciones del país tienen dos defectos muy graves (figura 75). Estas estimaciones se realizaron sobre la base de la aplicación de 1.511 check list o cuestionario de revisiones de instalaciones eléctricas interiores, lo que significa que los resultados tienen una confianza del 90% y un error muestral del 10%. La totalidad de estas revisiones fueron realizadas por instaladores licenciados, debidamente acreditados y autorizados por la SEC [32].



Figura 75: Defectos muy graves por instalación. Fuente SEC [32]

En la figura siguiente (fig. 76), se presenta el resultado del estado de las instalaciones, según requisito, en la proyección de la totalidad de los inmuebles del país:

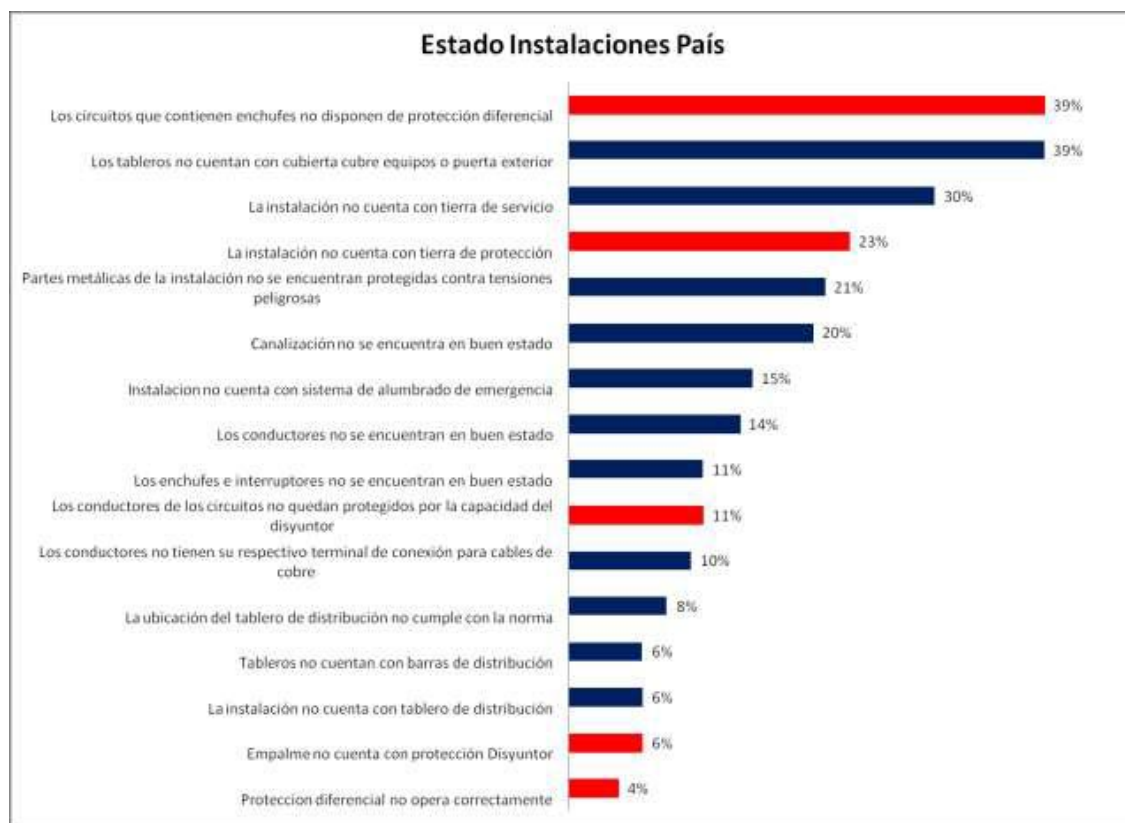


Figura 76: Estado instalaciones del país. Fuente SEC [32]. **Nota:** las barras de los gráficos se presentan en dos colores, siendo las de color rojo las que representan los elementos de mayor criticidad.

Las principales deficiencias detectadas de acuerdo a criticidad, corresponden a la falta de protección diferencial de los circuitos que contienen enchufes e instalaciones sin tierra de protección. El 39% de los inmuebles no cumplen con el requisito del diferencial, mientras que 23% de las construcciones no tienen tierra de protección. Cabe señalar, que estos requisitos son justamente los más importantes para la seguridad de las personas y la prevención de contactos eléctricos directos (con conductores) o indirectos (con carcasas principalmente). El estudio confirma que el mayor riesgo se encuentra en las instalaciones de mayor antigüedad, en particular, muestra que en las instalaciones anteriores a 1976, el 75% poseen al menos una insuficiencia calificada como muy grave, mientras que en los inmuebles construidos desde el 2007 en adelante, este indicador, es solo del 27%, es decir, casi un tercio de los inmuebles más antiguos. Los incumplimientos normativos respecto a canalizaciones (20%),

conductores en mal estado (14%), enchufes e interruptores en mal estado (11%), conductores no quedan protegidos por el disyuntor (11%), falta de terminales (10%) y empalme sin disyuntor automático (6%), representan los principales requisitos de protección contra incendios. Se advierte que el 89,37% de los inmuebles corresponden a residencias, el 10,30% a comercio e industrias y sólo el 0,33% a uso “público” (establecimientos educacionales, salud y gobierno). El estudio muestra que el riesgo de los inmuebles destinados a actividades privadas como residencias, comercio e industria, es superior a los inmuebles que soportan actividades públicas. El 60% de los inmuebles destinados a comercio tienen al menos una deficiencia eléctrica muy grave, en el caso de las residencias e industrias, este indicador es 57% y 56% respectivamente. El detalle de los resultados se presenta en tabla 22 y figura 77. El comercio, servicio público e industria representan los valores más altos con hasta 3 deficiencias por incumplimiento normativo.

Tabla 22. Número instalaciones con incumplimientos normativos. Fuente SEC [32]

N° Instalaciones con incumplimiento normativo							
N° defectos muy graves	Comercio	Residencias	Industria	Salud	Servicio Público	Educación	Total
1	60	57	56	43	43	30	289
2	30	28	28	15	19	11	131
3	8	4	6	4	7	3	32
Total	98	89	90	62	69	44	452

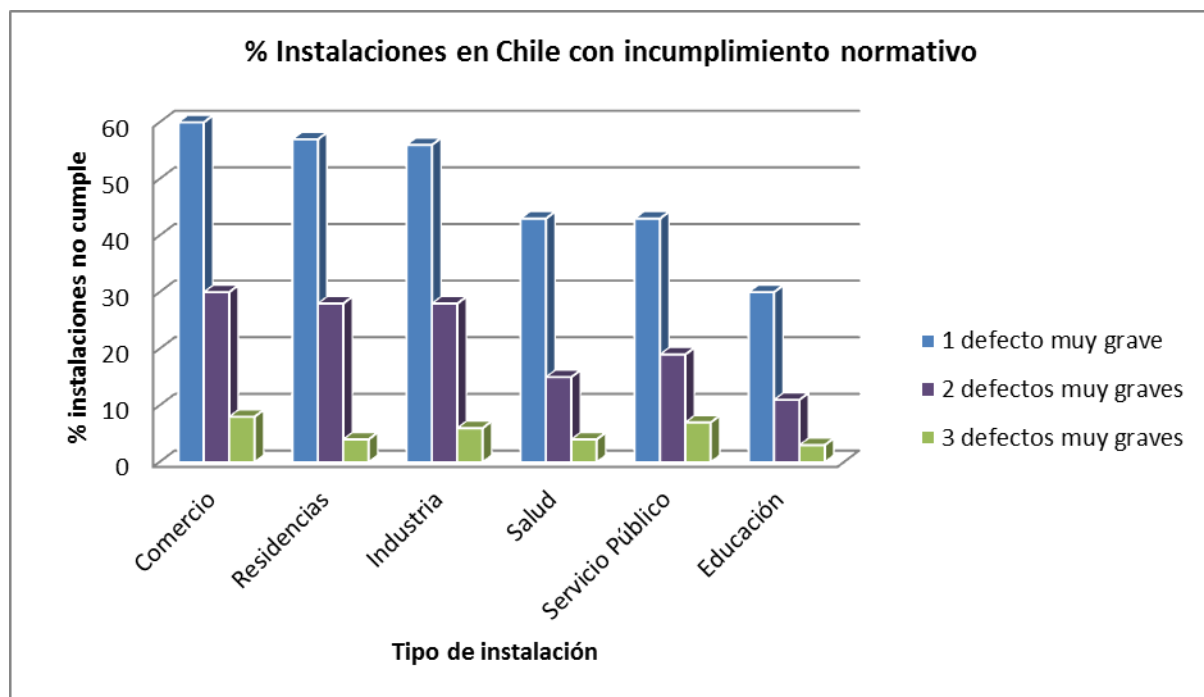


Figura 77. Porcentaje de instalaciones del país (proyección) con incumplimientos normativos. Fuente SEC [32]

5.9 Detalle de levantamiento en ACHS y herramienta de evaluación de seguridad eléctrica

5.9.1 Evaluaciones cualitativas de seguridad eléctrica

Como parte del trabajo habitual de la asesoría de seguridad eléctrica en el área de especialidades (Seguridad Industrial y Medio Ambiente), unidad dependiente de la Gerencia de Operaciones Preventivas, se realizan evaluaciones cualitativas y cuantitativas de cumplimiento de requisitos normativos de instalaciones eléctricas en empresas adheridas que solicitan este servicio o a partir de la evaluación del Experto Red que atiende a dichas empresas. A partir de los resultados de estas evaluaciones, se ha realizado un catastro global de cumplimiento de los principales requisitos de seguridad eléctrica de 46 instalaciones, a modo de muestreo general y reflejo de tendencias. Las instalaciones se han agrupado por rubro (educacional; centros recreativos y deportivos; industria, retail; oficinas públicas o gubernamentales). El período de estudio se inició a partir de julio de 2013 hasta marzo de 2014. La metodología utilizada permite continuar realizando catastros por áreas de interés. Los criterios utilizados son concordantes con el establecido por la SEC, sin embargo, se han añadido determinados parámetros para permitir realizar una evaluación

de riesgos y enfoque de criticidad en relación a la importancia del requisito normativo y su nivel de cumplimiento en la instalación:

Criterio SEC

Como se señaló anteriormente, el grado de criticidad establecido por la SEC, respecto a desviaciones normativas, establece tres niveles para un listado de requisitos de la norma NCH-ELEC 4/2003, de acuerdo al riesgo que representa para los usuarios y para las propias instalaciones:

Defectos muy graves: Criticidad = 3	Defectos graves Criticidad = 2	Defectos medios Criticidad = 1
--	---	---

Criterio cumplimiento requisito

Se cuantifica el nivel de cumplimiento de cada requisito, de acuerdo al criterio mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 23. Criterio de cumplimiento de evaluación de seguridad eléctrica


Puntaje: Escala de evaluación	
N/A	No Aplica requisito. (NE, No Evaluado)
0	No implementado (0-20% cumplimiento)
1	Implementado parcial (21-90% cumplimiento)
2	Implementado (91-100% cumplimiento)

Criterio de Evaluación Final

En función del análisis efectuado se cruza la información, esto es, el nivel de criticidad establecido por la SEC y el cumplimiento del requisito, lo cual resultará en un determinado nivel de riesgo de cada requisito. Esto permite priorizar el plan de acción propuesto de acuerdo a los riesgos críticos y con un foco en la seguridad de las personas y la prevención de incendios.

Tabla 24. Ponderación y resultado final de evaluación de riesgos

Criticidad SEC		Cumplimiento Inspección		
		0-20%	21-90%	90-100%
		0	1	2
Mediana	1	Yellow	Yellow	Green
Grave	2	Red	Yellow	Green
Muy Grave	3	Red	Red	Green



Riesgo Crítico
Riesgo Importante
Riesgo Aceptable

Resultados de cumplimiento porcentual

Cada instalación, respecto a los requisitos evaluados, presenta un nivel de cumplimiento porcentual total, lo que permite realizar comparaciones con otras instalaciones evaluadas bajo el mismo criterio.

Acciones Generales de acuerdo a criticidad

Los resultados finales se priorizarán en su normalización en relación a la criticidad de cada uno de los requisitos de la instalación evaluados. El orden de prioridad irá desde el riesgo crítico al aceptable. La tabla general de acciones se muestra a continuación:

Tabla 25. Plan de acción general en función del nivel de riesgo del requisito

CRITICIDAD	DEFINICIÓN	ACCIONES GENERALES
<p style="text-align: center;">CRÍTICO</p>	<p>Requisito normativo no se cumple, ya sea por un bajo cumplimiento del requisito o la gravedad del mismo en relación a la seguridad para las personas (peligro de contacto con energía eléctrica), o la seguridad de las propias instalaciones eléctricas (peligro de incendio).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normalización de hallazgos críticos, dando prioridad a los relacionados con seguridad para las personas y seguridad de las instalaciones. 2. La normalización o corrección de desviaciones normativas debe ser realizada por personal debidamente calificado (autorizado). 3. Establecer Plan de normalización general y focalizado con plazos inmediatos. 4. Establecer Programas de mantenimiento correctivo y preventivo. 5. Implementar procedimientos y EPP (Elementos de Protección Personal) adecuados al riesgo eléctrico.
<p style="text-align: center;">IMPORTANTE</p>	<p>Requisitos normativos medianamente implementados: la prioridad debe enfocarse en requisitos de seguridad para las personas.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Normalización de hallazgos importantes, dando prioridad a los relacionados con seguridad para las personas y seguridad de las instalaciones. Medidas de protección contra contactos eléctricos. Plazos medios. 2. Implementar procedimientos y EPP (Elementos de Protección Personal) adecuados al riesgo eléctrico.
<p style="text-align: center;">ACEPTABLE</p>	<p>Valores de cumplimiento por requisito sobre un 90% de cumplimiento porcentual de acuerdo a criterios evaluados. <i>Nota: Este resultado no refleja necesariamente la ausencia de peligros, que pueden ser críticos en determinados puntos de la instalación u otros no evaluados de acuerdo al alcance de la Auditoría/Inspección.</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recomendaciones de mantener condiciones actuales de los equipos o requisitos en condiciones aceptables (se debe establecer rutina de mantención preventiva). Mayor plazo de normalización.

Resultados globales en instalaciones evaluadas en ACHS

De la evaluación global, se desprende que los menores cumplimientos se concentran en los requisitos documentales de las instalaciones y su vigencia respecto a proyecto original. Sólo se evidencia un cumplimiento de un 24% respecto a la existencia de planos eléctricos y un 21% de declaraciones actualizadas, incluyendo aquellas en que se han realizado modificaciones importantes. Luego, tan sólo un 30% de las instalaciones cuenta con circuitos rotulados e instalaciones accesibles sólo a personal calificado. Otro requisito muy bajo en su nivel de cumplimiento tiene que ver con la ubicación y señalización de los tableros eléctricos. Sólo un 30% de las instalaciones evaluadas cumple dicho requisito. Respecto a la seguridad de personas, sólo existe un cumplimiento de un 36% de tierra de protección conectada a partes metálicas de la instalación, para la prevención de contactos indirectos. La existencia de protecciones diferenciales tiene un nivel de cumplimiento de sólo un 58%. Como resumen, al compilar los requisitos de acuerdo a su gravedad, se tiene el siguiente porcentaje de cumplimiento:

*Tabla 26. Resumen de cumplimiento de requisitos de acuerdo a su criticidad SEC.
Fuente: instalaciones evaluadas en ACHS julio 2013-marzo 2014.*

Promedio Requisitos de seguridad muy graves (criterio SEC)	70%
Promedio Requisitos de seguridad graves (criterio SEC)	58%
Promedio Requisitos de seguridad medios (criterio SEC)	37%

Respecto a los cumplimientos por instalación, se tiene un promedio general de un 54%. Al agrupar las empresas por rubro (figura 78), se tiene un menor cumplimiento en empresas públicas (44%), mientras que el Retail muestra los mejores resultados (71%), aunque bajos de todas maneras, tomando en consideración que existe exposición para terceras personas (clientes que pueden verse afectados en equipos eléctricos expuestos al público, tales como mostradores, máquinas de juegos, entre otras). En concordancia con este punto, el rubro de educación muestra los mayores cumplimientos (90%), para los requisitos definidos como muy críticos (criterio SEC), mientras que la industria tiene el valor más bajo de cumplimiento (53%) para el mismo grupo de requisitos (figura 79).

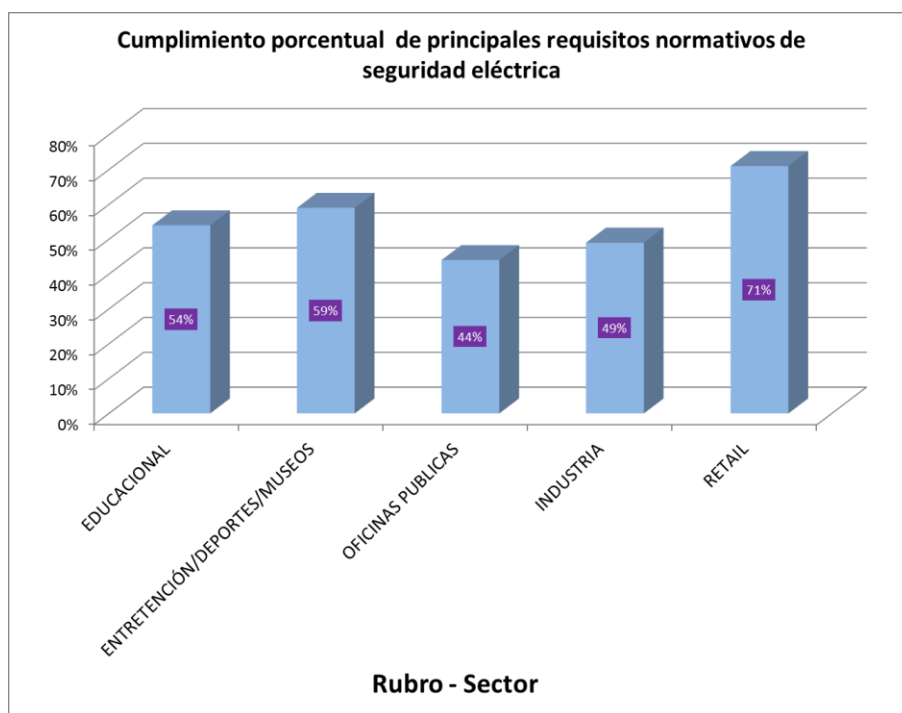


Figura 78. Cumplimiento porcentual de requisitos de seguridad eléctrica. Fuente: instalaciones evaluadas en ACHS julio 2013-marzo 2014.

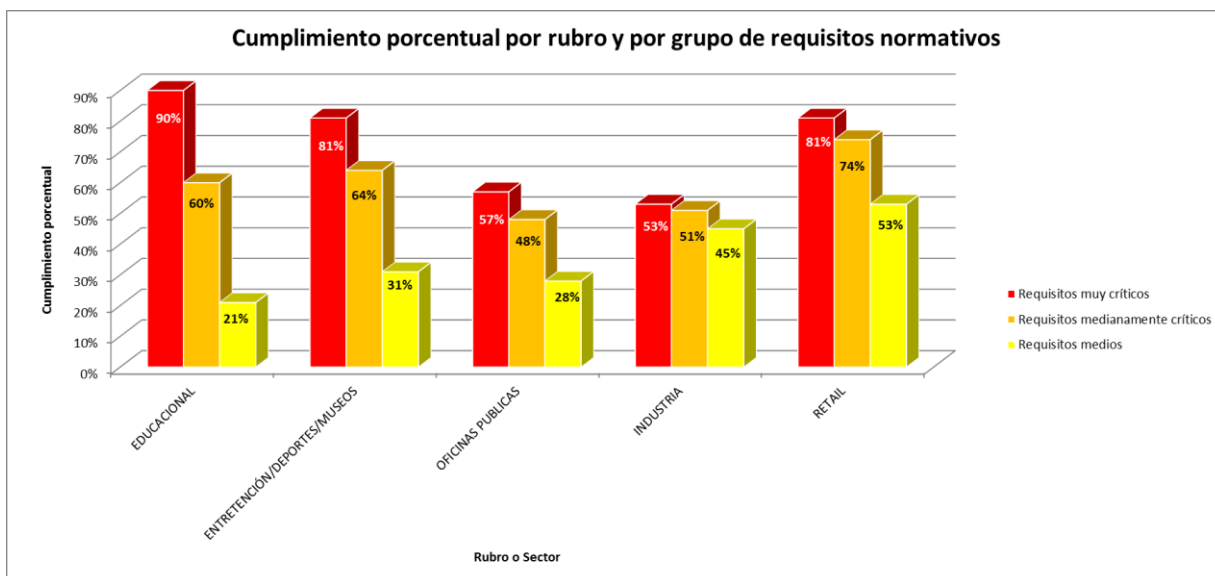


Figura 79. Cumplimiento porcentual de requisitos de seguridad eléctrica, en función de criticidad. Fuente: instalaciones evaluadas en ACHS julio 2013-marzo 2014.

5.10 Control de Ingeniería para peligros eléctricos: Protecciones eléctricas

Por diseño, una instalación bien dimensionada disipa el calor generado por el paso de la energía eléctrica (Efecto Joule). Algunos elementos se diseñan para soportar altas temperaturas en condiciones controladas, por ejemplo una ampolleta, con una temperatura de filamento superior a 2.200 °C. La sobre-intensidad de corriente se produce cuando pasa mayor corriente de la permitida en condiciones de seguridad. Si se mantiene mucho tiempo esta condición de falla, puede hacer que el conductor llegue a su temperatura de fusión. Como se señaló anteriormente, el fusible o el disyuntor termo-magnético (llamado comúnmente automático), entrega una protección para limitar la acumulación de calor en el cableado del circuito a niveles seguros. Sin embargo, este dispositivo no representa una solución integral, debido a que existe una gama importante de fallas que no son despejadas por este tipo de protecciones. Como se ha comentado, el sobrecalentamiento de los conductores no es la única causa de los incendios eléctricos. Además de las fallas de arco, se tienen también las conexiones defectuosas, como parte de las principales causas de incendios de tipo resistivo, a causa de contactos inadecuados, los que producen oxidación de los bornes y la consiguiente mayor resistencia y aumento de temperatura (puntos calientes). Además, pueden iniciar una ignición de elementos combustibles circundantes. Claramente, pueden existir muchas otras causas de incendios eléctricos, como por ejemplo, presencia de armónicos, sobretensiones y electricidad estática en ambientes explosivos, entre otras. Sin embargo, las causas principales se encuentran claramente identificadas, así como también los dispositivos eléctricos que pueden, en determinados casos, detectar este tipo de fallas. Y se señala en “determinados casos”, ya que no todas las fallas pueden ser detectadas por las protecciones eléctricas [37]. De acuerdo a lo anterior, en el presente informe se profundiza sobre las protecciones para fallas de arco, tanto en baja, como en media tensión.

A) Dispositivos para instalaciones interiores de baja tensión

El AFCI (Interruptor de circuito por fallas de arco, por su sigla en idioma inglés), es un dispositivo que ha sido introducido en la norma NEC²⁴ americana del año 2008. La citada norma establece su uso obligatorio en ciertos puntos de una vivienda (en punto 210.12) y su uso en lugares o empresas de uso público. El interruptor de circuito de falla de arco posee

²⁴ El National Electrical Code (NEC), o NFPA 70, es un estándar estadounidense para la instalación segura de conductores y equipos eléctricos. Forma parte de la serie de normas de prevención de incendios publicada por la National Fire Protection Association (NFPA).

una función de protección a un nivel de observación de las formas de onda para las condiciones anormales. Estas condiciones anormales son fallas de arco que pueden causar incendios. Se caracterizan por un flujo de corriente baja y errática que, al no ser detectada por los dispositivos convencionales, crea una situación de peligro, como la ignición de materiales combustibles en las cercanías.

En la figura 80, se aprecian imágenes reales de un foco de origen eléctrico en cables dañados [37]. La carbonización extensa ilustra una de las reacciones de la madera frente a temperaturas excesivas. Se trata de un avance lento del fuego, generalmente debido al tipo de falla que no es detectada por la protección convencional, y también a que los conductores se encuentran en espacio muy reducidos que cuentan con poco oxígeno, lo que resulta en una combustión lenta que poco a poco se abre espacio hacia combustibles cercanos y zonas donde hay mayor disponibilidad de oxígeno.



Figura 80: Imágenes de siniestro debido a conductores dañados, suministradas por el inspector jefe de incendios en Peoria, Arizona, EE.UU. [37]

Como se señaló en los antecedentes [6], las fallas de arco se pueden clasificar como:

- **Falla por arco paralelo:** arco producido por contacto directo de dos conductores con polaridad opuesta (ejemplo; un cordón de un aparato dañado).
- **Falla por arco serie:** es un arco a través del corte o rotura de un conductor individual (ejemplo, cable perforado por un clavo).
- **Falla por arco a tierra:** es un arco entre un conductor individual y la conexión a tierra.

Las siguientes situaciones comunes pueden indicar la presencia de un arco y provocar un incendio:

- Deterioro de aislamiento debido a su envejecimiento
- Cordones de cables atrapados en el pliegue de una puerta o entre un mueble y una pared
- Deterioro del aislamiento del cordón por exposición a la luz del sol
- Cordones de extensión deshilachados en artefactos
- Artefactos donde el aislamiento de los cables internos está deteriorado
- Artefactos con cables dañados por el uso
- Cables engrampados
- Cordones o cables recalentados
- Enchufes con conexiones sueltas.

Un AFCI no debería desconectarse durante situaciones de arco normales, como las que ocurren cuando se abre un interruptor o se desconecta un enchufe. La aceptación de este dispositivo en los EE.UU. ha sido excelente [37]. Actualmente, un gran número de instituciones entrega recomendaciones para la adopción de un AFCI, como parte integral de las protecciones contra fallas eléctricas:

- NFPA, en EE.UU, a través del NEC (Código Eléctrico Nacional).
- ESFI²⁵, Fundación Internacional de Seguridad Eléctrica
- AIEI, Asociación Internacional de Inspectores Eléctricos EE.UU.
- ESA²⁶, Autoridad de Seguridad Eléctrica de Ontario, Canadá.
- IEC 62606, “General requirements for arc fault detection devices”, a partir de año 2012, ampliando el rango a circuitos de 230 V, 50 Hz.

²⁵ **ESFI.** Fundada en 1994 a través de un esfuerzo conjunto de Underwriters Laboratories (UL); la U.S. Consumer Product Safety Commission (CPSC) y la National Electrical Manufacturers Association (NEMA), es una organización sin fines de lucro en Norte América dedicada a promover la seguridad eléctrica en el hogar, escuela y lugares de trabajo.

²⁶ **ESA.** Autoridad de Seguridad Eléctrica de Ontario, Canadá. Creada en 1999, es una autoridad administrativa delegada, corporación independiente, sin fines de lucro que actúa en nombre del Gobierno de Ontario, con responsabilidades específicas para la seguridad eléctrica, con el mandato de mejorar la seguridad eléctrica pública en Ontario.

B) Dispositivos para instalaciones industriales y de media tensión

A nivel industrial y en sistemas eléctricos de potencia, existe una serie de tecnologías para aumentar la efectividad de las protecciones, de manera tal, que éstas actúen en tiempo de despeje mucho menores, lo cual incide en menores valores de energía incidente en falla de arco eléctrico y un daño acotado al tiempo de duración de la falla. A continuación se mencionan las más comunes.

Comunicación y detectores de arco

Dentro de estas tecnologías se pueden mencionar los sistemas SCADA (sistema de control supervisor y de adquisición de datos), que pueden cambiar fácilmente los ajustes de los relé de protección, a un grupo de ajustes diferentes durante las actividades de mantenimiento o a través de la operación remota, reduciendo la exposición del personal. Por otro lado, se tienen las tecnologías fotosensibles, las cuales se han incorporado a los sistemas de protección, para una rápida detección de los efectos del arco y acelerar el disparo de los interruptores, tan pronto como se inicie una falla de arco [40]. El arco eléctrico, en sistemas de potencia, se manifiesta en diversos tipos de energía, siendo una de éstas la luz. Sensores de fibra óptica pueden detectar esta luz y proveer una señal al relé de protección. Los productos de detección de arco incluyen la opción de sensar la condición de sobrecorriente (figura 81 y 82). También el sistema puede utilizarse de manera autónoma, sólo con la detección de luz. Dado que la detección e información es muy rápida (cerca de la velocidad de la luz, 300.000 km/s), la señal de disparo desde la protección bordea un tiempo mínimo de 2,5 ms [41], lo que se traduce en un menor nivel de energía incidente producto de una falla de arco. El tiempo de despeje total dependerá del tiempo de disparo de la protección, más el tiempo de apertura de los interruptores. La tabla N° 27 muestra tiempos de apertura típicos de interruptores de poder [39]. La figura 83 (A) muestra el tiempo de apertura de un interruptor (30 a 50 ms), con la tecnología de detección de luz, mientras que la figura 83 (B), presenta una falla de arco sin este tipo de protección y con tiempos de operación de apertura del interruptor entre 200 ms y 1s [42], con una considerable energía incidente y los posteriores resultados de lesiones al operador y daños al equipo.

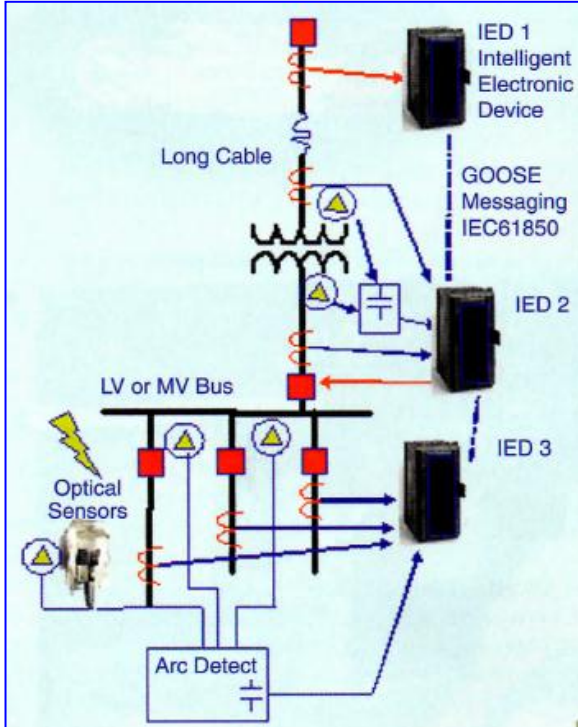


Figura 81: Tecnología de detección de luz y de comunicación de alta velocidad [40]

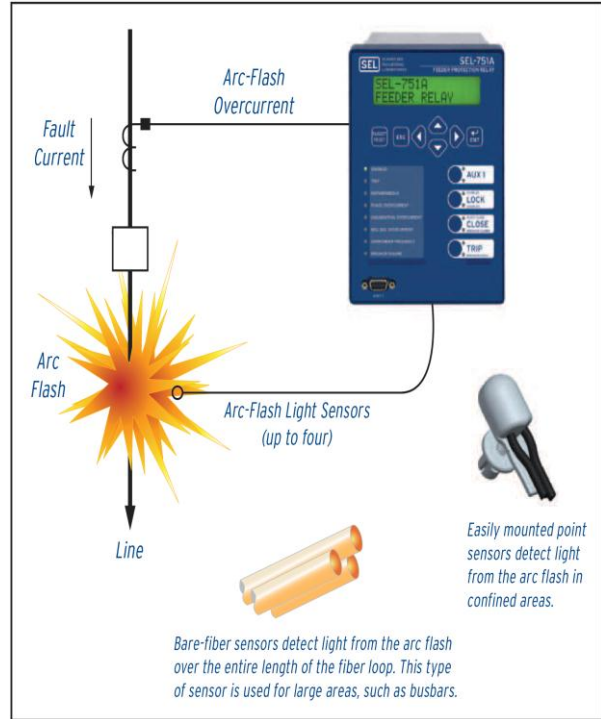


Figura 82: Relé de la marca SEL, con sensor de detección de luz [41]

Tabla 27. Tiempos típicos de apertura de interruptores [39].

Tipo/rango de Interruptor (CB)	Tiempo de apertura (ciclos), 50 Hz	Tiempo de apertura (ms), 50 Hz
Baja Tensión (<1000 V) (molded case) (trip integrado)	1,5	30
Baja Tensión (<1000 V) (insulated case) (power circuit breaker) (trip integrado)	3	60
Media Tensión (1-35 kV)	5	100
Alto Voltaje (>35 kV)	8	160

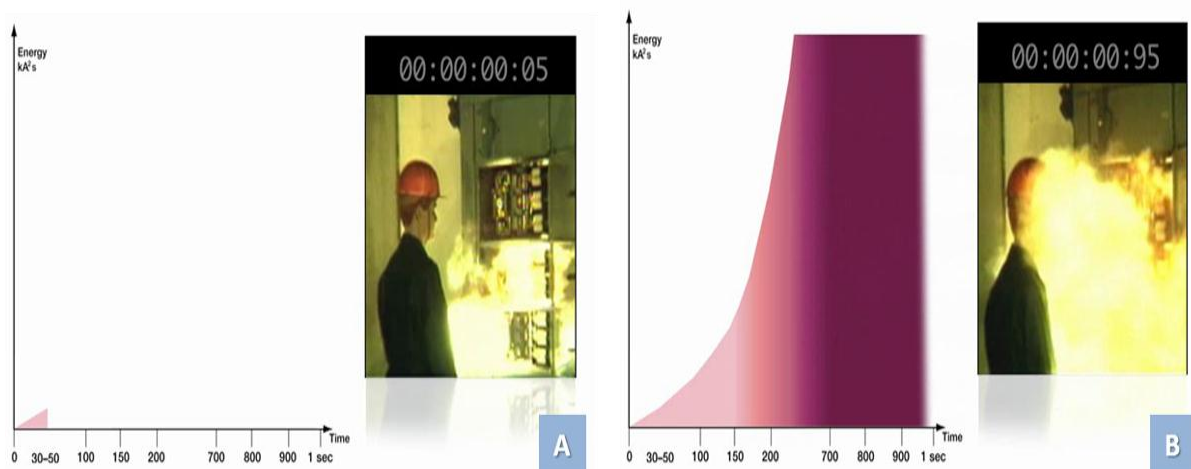


Figura N° 83: Operación de interruptor con relé de detección de luz [42].

Equipos arco-resistentes

Un equipo eléctrico moderno de media tensión aislado en aire (AIS) o en gas (GIS) puede protegerse por sistemas pasivos, como la misma estructura del equipo. En otras palabras, la envolvente²⁷ del tablero soporta la presión y el calor generados por el arco, y un conducto de escape aleja los gases calientes de la zona de trabajo del operario. Generalmente, a este tipo de tecnología se le adiciona un sistema de relés de protección apropiado, incluyendo la detección de haz del arco. La norma IEC 62271-200²⁸ (IAC) clasifica la compartimentación de los paneles de MT y específicamente, IAC indica la clasificación para soportar el arco interno. La base de los requisitos para los equipos arco-resistentes se basa en:

- Las consecuencias en la continuidad del servicio de la red eléctrica en caso de mantenimiento del panel.
- La necesidad y conveniencia del mantenimiento del equipamiento.
- Seguridad personal (en caso de arco interno).

Estos equipos se someten a múltiples ensayos y pruebas específicas (figura 84) en función de determinados requerimientos de uso [43]. La norma IEC 62271-200 establece 5 requisitos que deben cumplir los equipos arco-resistentes:

²⁷ Las envolventes de los equipos eléctricos constituyen una protección contra contactos eléctricos directos de las personas y, a su vez, una protección del propio equipo contra penetración de agentes ambientales sólidos y líquidos (Código IP) y contra los impactos mecánicos externos (Código IK). Fuente NTP 588: Grado de protección de las envolventes de los materiales eléctricos. <http://www.insht.es>.

²⁸ High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV.

- **Criterio 1:** No deben abrirse las puertas.
- **Criterio 2:** No deben desprenderse partes del tablero.
- **Criterio 3:** No deben producirse orificios.
- **Criterio 4:** No deben arder los indicadores.
- **Criterio 5:** Todas las conexiones de tierra deben ser eficaces.

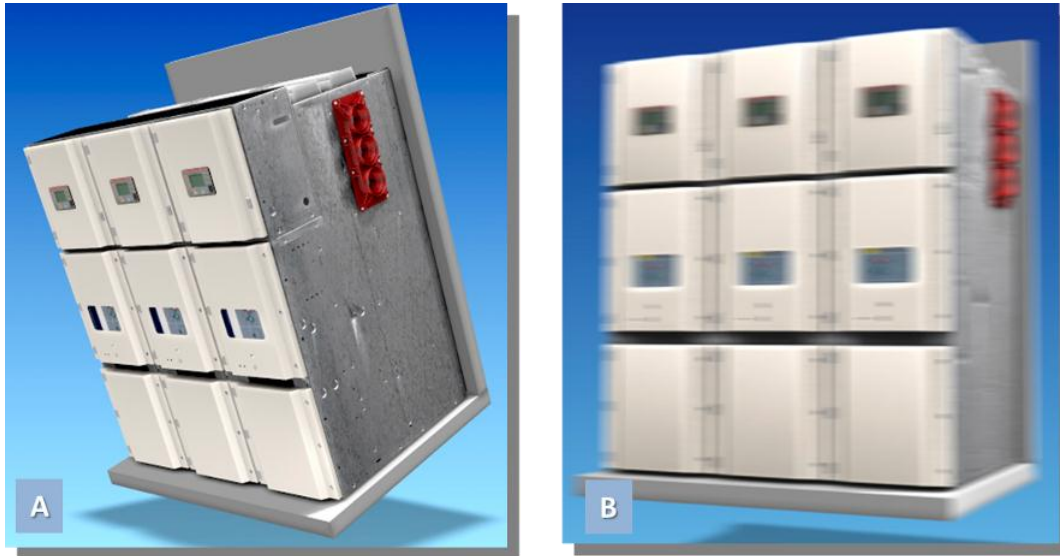


Figura 84. Pruebas de equipos arco-resistentes; A: Prueba de inclinación; B: Prueba de vibración. [43]

Las características de un equipo arco resistente, incluye una construcción robusta para resistir el arco (compartimento de acero). El diseño asegura que las uniones permanezcan selladas bajo condiciones de falla. Generalmente, cuentan con flaps de alivio de presión montados en la parte superior para la liberación controlada de sobrepresiones, humo y gases hacia arriba, provocados por la falla de arco, protegiendo al personal (figura 85).

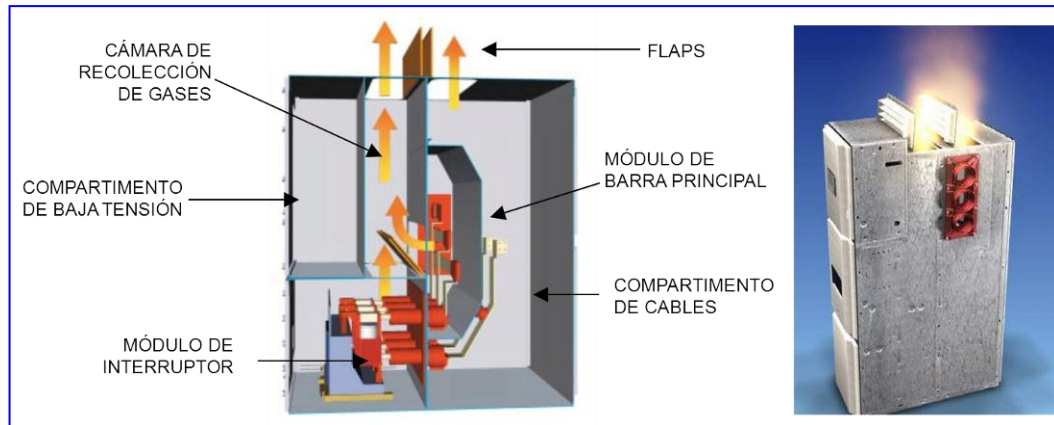


Figura 85. Disposición de componentes de un equipo arco resistente [43].

Por su parte, IEEE²⁹ ha definido la “Guía para pruebas en switchgear de media tensión Metal-Enclosed para fallas internas de arco”, la cual se muestra en la tabla 28. La figura 86 muestra un set de pruebas a un tablero convencional. Por otro lado, la figura 87 muestra las pruebas a un panel arco-resistente y la correspondiente liberación controlada de energía.

Tabla 28. Clasificación de tipos de switchgear en función del estándar IEEE C37.20.7. [43]

IEEE C37.20.7-2007	
Tipo 1:	Arco resistente para el frente solamente
Tipo 2:	Arco resistente para el frente, posterior y lados.
Tipo 2B:	Similar al Tipo 2 pero con aislamiento y protección del compartimiento de baja tensión o de instrumentación
Tipo 2C:	Similar al Tipo 2 pero con resistencia a Arco entre los paneles adyacentes.
Tipo 2BC:	Combinación del Tipo 2B + 2C

²⁹ IEEE: siglas de (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en español Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras actividades.

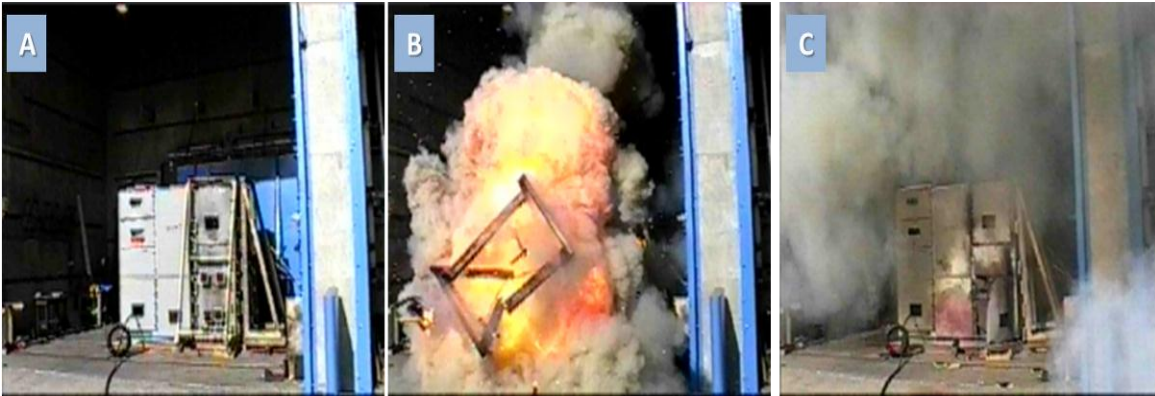


Figura 86: Prueba de arco interno en tablero de media tensión convencional. Se aprecia el nivel de destrucción y de energía del arco de manera descontrolada, con los peligros de accidentes e incendios. [43].



Figura 87: Pruebas en equipos arco-resistentes. Foto A, se aprecian los “testigos” que recogen muestras de ignición en ensayos. Foto B corresponde a la prueba del equipo Unigear ABB, ancho panel 800 mm, corriente de falla 50 kA, 1 s de duración, ignición del cubículo de barras [43].

5.11 Prevención de incendios y fallas de origen eléctrico

Para la prevención de incendios de origen eléctrico es fundamental el diseño y la puesta en servicio de la instalación eléctrica de acuerdo a las normas vigentes. Además como se ha mencionado, en la revisión de la actual normativa es necesario estudiar la inclusión de nuevas tecnologías (punto 5.12.5, Control de Ingeniería), para el control adecuado de los peligros de incendios, derivados de las múltiples causas eléctricas tratadas en el presente informe. Como puntos ineludibles para el adecuado control de incendios eléctricos se tiene:

5.11.1 Inspección del sistema eléctrico

- Identificar y corregir las fallas existentes. Generalmente son acciones que deben realizarse a través de personal calificado y competente para este cometido. En Chile, se puede encontrar un listado de instaladores eléctricos calificados en la página web de la SEC

(www.sec.cl). Como se señaló, el área de especialidades técnicas de ACHS entrega asesoría a las empresas afiliadas respecto a este ítem.

- Reemplazar equipos y cableado obsoleto del sistema. Las instalaciones que sobrepasan los 10 años deben observarse y chequearse; si es necesario, reemplazar sus componentes.
- Chequear y revisar la operatividad de las protecciones eléctricas, principalmente protecciones diferenciales (que evitan los contactos eléctricos para las personas) y los disyuntores termo-magnéticos – automáticos- (para fallas principalmente de cortocircuito y sobrecarga).
- Lubricar equipos móviles (rodamientos de motores).
- Ubicar elementos combustibles o inflamables lejos de las fuentes de energía eléctrica.

5.11.2 Identificar y reparar puntos de fallas antes del rearme de los disyuntores automáticos

- Cuando es habitual en una instalación la apertura de los automáticos, las personas tienden a ir al tablero o medidor y activar la palanca. La medida más adecuada es preguntarse por qué está sucediendo esta falla y cómo se puede controlar.
- Si es necesario, reparar equipos portátiles o conductores y siempre realizar esta acción antes del rearme del automático.

5.11.3 Utilizar correctamente los aparatos eléctricos

- No utilizar aparatos eléctricos con cargas superiores a las del circuito de la instalación.
- Reemplazar fusibles y/o disyuntores de acuerdo a la capacidad de la instalación.
- Revisar regularmente el cableado y los electrodomésticos. Los cables dañados pueden provocar incendios. Reemplazar de inmediato todos los cables de electrodomésticos gastados, viejos o deteriorados.
- Usar con precaución las extensiones eléctricas, no sobrecargándolas.
- Mantener los electrodomésticos alejados de pisos húmedos; prestar especial atención a los aparatos ubicados en el baño y en la cocina.
- Cuando se adquieran nuevos aparatos eléctricos (industriales, electrodomésticos, herramientas, etc.), elegir aquellos productos que hayan sido evaluados por un laboratorio nacional reconocido y verificar su certificación mediante el sello correspondiente otorgado por SEC.
- No permitir que los niños jueguen con o cerca de electrodomésticos como calentadores, planchas, etc.

- Revisar regularmente sus herramientas eléctricas para detectar signos de desgaste. Si los cables están dañados o agrietados, reemplazarlos.
- Reemplazar cualquier herramienta que provoque una pequeña descarga eléctrica, se recaliente, haga un cortocircuito o emita humo o chispas.

5.11.4 Contar con alarmas y medios contra incendios (nivel domiciliario)

- Contar con un detector de humo aumenta enormemente la probabilidad de sobrevivir a un incendio. Asegurarse de que todos los pisos o plantas tengan un detector de humo y chequearlo una vez al mes.
- Cerciorarse del buen estado de las baterías y verificarlas de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
- Disponer de un extintor certificado y conocer su modo de funcionamiento.
- Por último, practicar frecuentemente con la familia un plan de actuación frente a incendios u otras emergencias. En el lugar de trabajo practicar el plan de emergencias vigente.

5.11.5 Contar con alarmas y medios contra incendios (nivel industrial)

- Contar con una infraestructura constructiva resistente al fuego según lo indicado en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Al respecto, los traspasos de los shaft de canalizaciones de servicio (conductos), a través de muros y losas, deberán encontrarse debidamente sellados para evitar la propagación del fuego a través de ellos.
- Disponer de extintores certificados en cantidad suficiente y distribuidos según lo establecido en el Decreto N° 594. del Ministerio de Salud, "Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo".
- Contar con un sistema de detección y alarma conformado por un panel central de alarma, al cual van conectados los detectores, pulsadores manuales y alarmas sonoras. Este sistema debe ser diseñado de acuerdo con las pautas basadas en la norma norteamericana de la National Fire Protection Association, NFPA 72. "National Fire Alarm and Signaling Code".
- Se recomienda que las salas eléctricas estén protegidas con sistemas especiales de extinción, diseñados en base a normas NFPA, tales como la norma NFPA 12 "Carbon Dioxide Extinguishing Systems" o la norma NFPA 2001 "Clean Agent Fire Extinguishing Systems".
- Por último, se deberán realizar simulacros evaluados de los procedimientos contenidos en el plan de emergencia, que incluyan a

todo el personal de la empresa. Se recomienda que estos simulacros incluyan al cuerpo de bomberos del sector.

5.12 Gestión de seguridad para la prevención de accidentes eléctricos en la industria. Implementación de Programa de Seguridad Eléctrica.

La base de un programa de seguridad eléctrica es la cultura preventiva. Cualquier iniciativa en este sentido debe apuntar a establecer ciertos controles de acuerdo a un orden lógico. La metodología usual para controlar los riesgos es la especificada en el estándar ANSI Z10³⁰ [1]-[39], llamada también jerarquía de control de riesgos, donde las medidas más efectivas parten desde la eliminación del riesgo (en muchos casos esto es inviable), pasando por la sustitución de tecnologías o sistemas de energía, luego aplicando controles de ingeniería, controles administrativos (procedimientos, entrenamientos, prácticas de trabajo seguro, entre otras), hasta llegar a la última etapa que es la menos efectiva y que tiene que ver con el uso de EPP adecuados al riesgo. La figura 88 ilustra estos puntos.

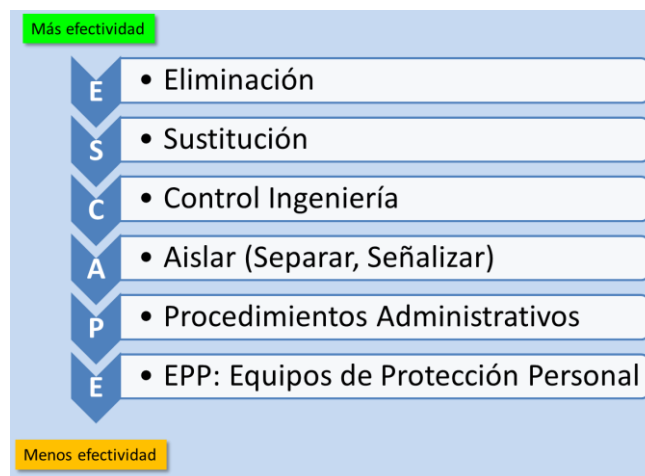


Figura 88: Jerarquía de control de riesgos: "ESCAPE" [39]

La figura 89 resume las medidas de control y la relación con la Norma NFPA 70E [1], para la gestión de seguridad eléctrica. Como parte del presente proyecto se intervino en 3 empresas adscritas al programa. En dos de éstas (Retail e Industria química), se trabajó con el enfoque operacional indicado en la NFPA 70-E y como parte del presente trabajo en su fase de implementación de las herramientas preventivas. En la tercera, se asesoró en el estándar y capacitación para trabajos de Telecomunicaciones y los peligros eléctricos del entorno, específicamente en redes aéreas, proceso llamado "planta externa". A continuación, se presentan

³⁰ Sistemas de Administración de la Seguridad y Salud del Trabajo, ANSI: Instituto Nacional de Normalización Estadounidense, por su sigla en inglés.

algunos resultados en conjunto con una estrategia estándar de un Programa de Seguridad Eléctrica.

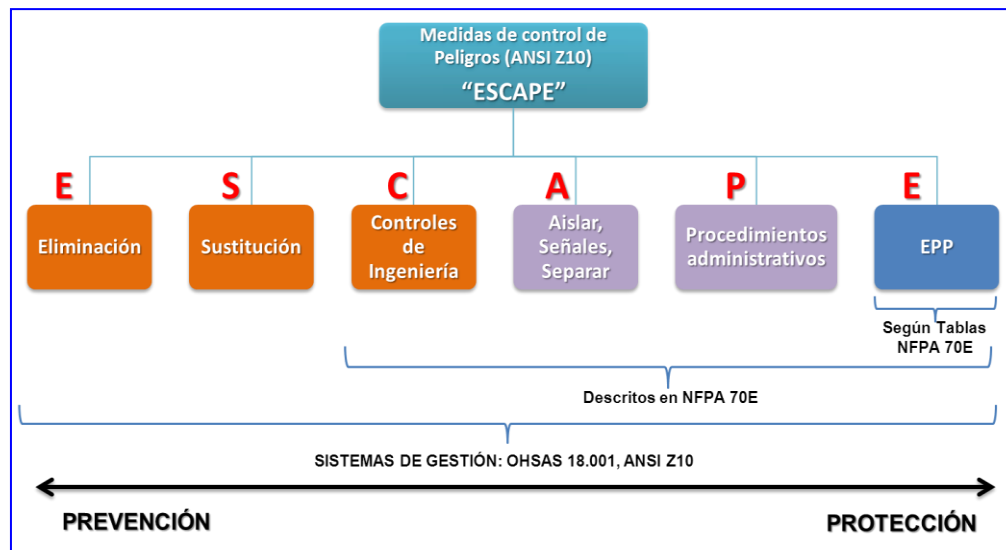


Figura 89: Diagrama de un programa de seguridad eléctrica efectivo, el que incorpora **todas** las medidas de control [39].

5.12.1 Implementación del Programa de Seguridad Eléctrica

En primer lugar, se debe conformar un comité de implementación, el cual debe estar integrado por los gerentes, personal de la línea de mando y personal de las especialidades (eléctrica y prevención de riesgos). Debe incluirse asesoría especializada, la que puede ser entregada, por ejemplo, a través de la mutualidad correspondiente. Se debe generar una Política de Seguridad Eléctrica de acuerdo a la Política de Seguridad y Salud existente en la Empresa. En ésta se deben establecer las principales directrices, lineamientos y valores que rigen el comportamiento de la organización. A partir del establecimiento de un procedimiento de análisis y evaluación de riesgos, y una vez aplicado a los procesos, se deben proponer entrenamientos y prácticas adecuadas a la cultura de la empresa, de acuerdo a lo indicado en la NFPA 70E – 110.6 [1], con una participación activa de todas las partes. Se deberá proponer calificaciones internas para los empleados (autorizados, calificados), de acuerdo a un programa de perfeccionamiento y entrenamiento establecido. Además, se deben crear instructivos genéricos y específicos, ya sea para trabajos de mantenimiento, operación, maniobras, en baja, media o alta tensión NFPA 70E – 110.7. E-F-G [1]. Todas las prácticas anteriores, se deben integrar con la gestión habitual en materia de Seguridad y Salud

Ocupacional, esto es: capacitación, inspecciones, observaciones preventivas, investigaciones de incidentes, etc.

Para el caso de la Empresa Walmart S.A. se fijaron objetivos generales y específicos, mediante un plan de trabajo, derivado de determinados incidentes que tuvo la empresa en diversos locales de supermercados, los cuales significaron amagos de incendio y contacto eléctricos en el personal, con lesiones menores. Se definió una determinada cantidad de locales para la intervención, se apoyó las investigaciones de los incidentes y se concluyó de manera general lo siguiente:

- Falta o no operatividad de protecciones diferenciales y sistemas de puesta a tierra.
- Desviaciones normativas de las instalaciones eléctricas existentes.
- Falta de control operacional para empresas contratistas en Proyectos y mantención, procesos eléctricos y otros como parte de las actividades de ampliación o remodelación de locales.

El diagnóstico específico se resume en tablas 29, 30 y 31.

Tabla 29. Diagnóstico de seguridad eléctrica y medidas de control Empresa Walmart

Ítem	Detalle
Necesidad de evaluación (Peligro)	<p>En los locales de la empresa se han registrado accidentes por contacto eléctrico en sectores de caja y otras dependencias. Ha habido incidentes masivos y otros puntuales.</p> <p>Existen antecedentes de juicios y problemas para las empresas (otras empresas del comercio y retail), en cuyos locales se han accidentado clientes.</p>
Causas	<p>Al realizar el análisis de las causas, se han detectado desviaciones como las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta o falta de protecciones diferenciales (defecto grave según lo definido por la SEC). ▪ Falta o falta adecuada tierra de protección en carcasa para evitar contactos indirectos. ▪ Falta de inspecciones o auditorías en locales para detectar estas anomalías.
Solución a la problemática	<p>Para dar solución al peligro detectado se debe verificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Todas las instalaciones de circuitos deberán disponer de protecciones diferenciales operativas. ▪ Se debe verificar la calidad y disposición de puesta a tierra de protección.
Implementación (medidas correctivas-preventivas)	
Jerarquía de control de riesgos ESCAPE	
Control Ingeniería	<p>1. Se debe verificar disposición de diferenciales en circuitos de enchufes de la totalidad de locales en el programa (prioridad en cajas y máquinas con directo contacto con público).</p>

	<p>2. Normalizar brechas en protecciones diferenciales.</p> <p>3. Normalizar hallazgos en sistemas de tierra de protección.</p>
Procedimiento Administrativo	<p>Actividades de gestión de riesgos para controlar y realizar seguimiento a medidas implementadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar diferenciales. ▪ Anualmente verificar resistencia óhmica de sistema de tierra. ▪ Realizar procedimiento de inspecciones semestrales o anuales a través de empresas eléctricas contratistas. ▪ Certificar internamente el proceso.
EPP	<p>No Aplica, en el sentido que para el nivel usuarios, las medidas de control para riesgo eléctrico se proveen a través del diseño y cumplimiento normativo de las instalaciones.</p>

Tabla 30. Diagnóstico de seguridad eléctrica en las instalaciones, motivo de fiscalización (SEREMI y Dirección del Trabajo) y medidas de control..

Ítem	Detalle
Necesidad de evaluación (Peligro)	<p>Las entidades públicas de fiscalización (SEREMI Salud, Dirección del Trabajo), buscan mejorar condiciones laborales en los lugares de trabajo. En el ámbito eléctrico, se centran en detectar hallazgos que signifiquen peligros para las personas. En casos de accidentes graves se debe notificar a estas entidades (circular 2345).</p> <p>Las principales desviaciones normativas que son fiscalizables por las entidades mencionadas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Declaraciones de instalaciones. ▪ Planos eléctricos. ▪ Tableros abiertos. ▪ Falta de pictogramas de peligro eléctrico en equipos eléctricos. ▪ Defectos evidentes en las instalaciones (cables sueltos, enchufes rotos, desorden en el cableado, etc.)
Causas	<p>Al realizar el análisis de las causas, se han detectado las siguientes desviaciones comunes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de inspecciones sistemáticas. ▪ Personal de expertos en prevención no detectan este tipo de condiciones. No se consideran en la matriz de riesgos. ▪ Personal no calificado interviene los equipos. ▪ No se cuenta con levantamiento de planos o identificación de circuitos. ▪ El personal usuario no tiene conciencia del riesgo ni de la correcta operación de las instalaciones eléctricas.
Solución a la problemática	<p>Para dar solución al peligro detectado se debe:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer inspecciones sistemáticas ▪ Instruir al personal acerca de la operación y manipulación de las

	instalaciones.
Implementación (medidas correctivas-preventivas)	
Jerarquía de control de riesgos ESCAPE	
Control Ingeniería	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se debe incorporar cerrojos en la totalidad de tableros eléctricos en el respectivo local. 2. Los paneles interiores invariablemente deberán cerrarse con candado. Se deberá normalizar su instalación. 3. Se debe levantar planos e identificación de circuitos.
Aislar-Separar-Señalizar	Se debe instalar señales de peligro eléctrico en salas eléctricas y tableros
Procedimiento Administrativo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se deberá asignar responsables por local para operar interruptores y/o disyuntores de las instalaciones. ▪ Se debe confeccionar procedimiento para la operación de las instalaciones eléctricas. ▪ Se deberá informar al personal del local acerca de las medidas de prevención en materia de seguridad eléctrica. ▪ Se debe incorporar estas medidas en la IPER correspondiente.
EPP	No Aplica, en el sentido que para el nivel usuarios, las medidas de control para riesgo eléctrico se proveen a través del diseño y cumplimiento normativo de las instalaciones.

Tabla 31. Diagnóstico desviaciones operacionales de seguridad eléctrica empresas contratistas de mantención eléctrica

Ítem	Detalle
Necesidad de evaluación (Peligro)	Por el tipo de actividad y constante exposición al sistema eléctrico, las empresas de servicios se encuentran mayormente expuestas a peligros eléctricos. Por otro lado, se tiene antecedentes de incidentes eléctricos en la industria nacional, que han ocurrido a personal electricista, donde aproximadamente el 34% de los accidentes graves, son de relámpagos de arco (Arc Flash)
Causas	<p>Las causas se orientan a la falta de control de requisitos específicos en materia de seguridad eléctrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Falta de capacitación específica en este tipo de peligros. ▪ Falta de EPP específicos para riesgos de shock y arco eléctrico. ▪ No existen evaluaciones de riesgos desde el punto de vista de niveles de energía existente.
Solución a la problemática	<p>Para dar solución al peligro detectado se debe auditar:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cumplimiento de procedimientos y directrices generales en materia de riesgos eléctricos ▪ Adecuados EPP para shock y arco eléctrico

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipamiento y materiales necesarios para establecer procedimientos de bloqueo de las instalaciones.
Implementación (medidas correctivas-preventivas) Jerarquía de control de riesgos ESCAPE	
Control Ingeniería	Análisis de riesgos de arco eléctrico, principalmente en instalaciones de media tensión y tableros generales de alta potencia, con determinados requisitos de norma NFPA 70E.
Aislar-Separar	Delimitar zonas de trabajo, aislar accesos a salas eléctricas y equipos de potencia (celdas, transformadores, tableros generales).
Procedimiento Administrativo	Actividades de gestión de riesgos para controlar y realizar seguimiento a medidas implementadas. <ul style="list-style-type: none"> - Implementar estándar de EPP para riesgo eléctrico. - Implementar Manual de Seguridad Eléctrica - Implementar Procedimientos de bloqueo de energías e intervención de tableros.
EPP	Equipos de protección personal para shock y arco eléctrico: <ul style="list-style-type: none"> - Guantes aislantes clase 00 (500 V) y clase 2 (17.000 V) - Zapatos dieléctricos - Cascos - Lentes - Ropa ignífuga FR - Caretas faciales protección contra el arco - Otros.

A. Evaluación de peligros, Norma NFPA 70E – 110.7 F. 110.8 [1]; la identificación de peligros y evaluación de los riesgos constituye la base del sistema de gestión a implementar. Dependerá de los riesgos, del negocio que desempeñe la empresa y de los controles que lleve a cabo en sus procesos. La evaluación de riesgos es un procedimiento para cuantificar la gravedad de los mismos, aplicar una adecuada jerarquía de control y determinar prioridades de ejecución. Los riesgos inaceptables (intolerables) deberán tratarse en períodos inmediatos. Otros riesgos de menor complejidad podrán tratarse en función de plazos más extendidos, considerando los costos necesarios.

Para el caso de Walmart y FMC (Empresa química que también adhirió al programa), se realizaron matrices de peligro, donde se incluye la evaluación de riesgo de shock y relámpago de arco. Además se prepararon señales de advertencia especiales, complementarias al pictograma de peligro eléctrico, indicando la categoría de peligro/riesgo de acuerdo a NFPA 70E, utilizando las tablas referenciales (130.7 (C) (9) [1]) y de acuerdo a los niveles de energía de las instalaciones evaluadas. El resultado de estos análisis se convierte en señales de seguridad con diseño de acuerdo a la norma NCh 1411

“Letreros, Señales y Tarjetas de seguridad”, referida a la señal de advertencia con fondo naranja para riesgos específicos con información para su control. Ejemplo de los resultados de estas evaluaciones se muestran en figuras 90 y 91.

ADVERTENCIA		
Peligro Electricidad	Peligro de Shock Eléctrico Peligro de Relámpago de Arco (Arc Flash) Requisitos de Elementos de Protección Personal-EPP	
Voltaje sistema/equipo/línea:	23000 V	Requisitos de EPP min. 1) Guantes aislantes clase 3 (hasta 26 kV) 2) Calzado aislante 3) Casco clase A 4) Ropa FR (>25 cal/cm ²) 5) Protec. facial Capucha (>25 cal/cm ²)
Sistema de Puesta a Tierra:	Neutro aterrizado	
Distancia de trabajo:	2,000 metros	
Máx. Corriente de falla trifásica:	<10 kA	
Distancia de Protección Relámpago de Arco:	1,5 metros	
Energía Incidente a la distancia de trabajo:	8,87 cal/cm ²	
Nivel de Riesgo NFPA 70E (mediante cálculo y Tabla 130.7 (C)(8))	3	
Dispositivo de Protección: Operado mediante pértigas	Fusibles	
Nombre Equipo	Subestación aérea	
Walmart Chile		
SEGURIDAD ELÉCTRICA FUNCIONAL (SEF)®		

Figura 90: Señales especiales de peligro eléctrico (Walmart), integrando categoría peligro/riesgo NFPA 70E, implementación en locales del programa.

ADVERTENCIA		
Peligro Electricidad	Peligro de Shock Eléctrico Peligro de Relámpago de Arco (Arc Flash) Requisitos de Elementos de Protección Personal-EPP	
Voltaje sistema/equipo/línea:	380 V	Requisitos de EPP min. 1) Guantes aislantes clase 00 (hasta 500 V) 2) Calzado aislante 3) Casco clase A 4) Ropa FR (>8 cal/cm ²) 5) Protec. facial con/escudo (>8 cal/cm ²)
Sistema de Puesta a Tierra:	Tierra Protec.	
Distancia de trabajo:	0,30 metros	
Máx. Corriente de falla trifásica a (Interruptor):	0,50 kA	
Distancia de Protección Relámpago de Arco:	1,22 metros	
Energía Incidente a la distancia de trabajo:	<8 cal/cm ²	
Nivel de Riesgo NFPA 70E (mediante Tabla 130.7 (C)(8))	2*	
Dispositivo de Protección:	Interruptor	
Nombre Equipo	Tablero Envasado 04	
FMC BioPolymer		
SEGURIDAD ELÉCTRICA FUNCIONAL (SEF)®		

Nota: 1,22 m se considera la distancia a la barra energizada principal. Por lo tanto, los restantes 22 cm. , se consideran en el interior del tablero. Aproximadamente esto arroja una distancia de Arco de 1 m. en la parte externa que es donde se debe utilizar el equipo Cat. 2*, en trabajos en tensión sobre conductores energizados. La operación normal de un switch, un disyuntor o interruptor no implica utilizar un equipo adicional a los EPP habituales en el proceso, salvo guantes de cuero para abrir puertas y operar las protecciones.

Figura 91: Señales especiales de peligro eléctrico (FMC), integrando categoría peligro/riesgo NFPA 70E.

B. Seguimiento de metas y auditorías, Norma NFPA 70E – 110.7 H [1]; el programa de seguridad eléctrica deberá contener metas y objetivos claros, medibles y cuantificables, de manera tal, de poder ir haciendo un seguimiento constante al proceso. Anualmente, se deben programar auditorías para evaluarlo en su conjunto y proponer las mejoras pertinentes del sistema.

C. Procedimientos y metodologías (controles administrativos); más allá de disponer del equipamiento de seguridad, medidas de ingeniería y equipos de protección personal (EPP específicos), se debe atender los procedimientos y metodologías como normas irrevocables. Cumplir un determinado procedimiento será fundamental para mantener la seguridad del lugar de trabajo.

C.1. Procedimientos de Trabajo Seguro Norma NFPA 70E – 110.7 E [1]; un procedimiento de trabajo seguro forma parte de las medidas de control administrativas. El objetivo de este documento es analizar los diversos trabajos que se efectúan en el ámbito eléctrico y describir detalladamente las etapas y secuencias que componen la actividad, analizando los riesgos y proponiendo las medidas de control pertinentes. Se deben indicar las responsabilidades de los involucrados en la actividad, especificar los equipos y herramientas que se deben utilizar, además de los EPP requeridos. Desde el punto de vista técnico y de calidad, dicho documento debe hacer referencias a metodologías y estándares definidos en las diversas normativas constructivas y de mantenimiento existentes. Dentro de los Procedimientos, es ineludible la implementación de **Procedimientos de Bloqueo de energías peligrosas** (Norma NFPA 70E – 120.1 – 120.2 [1]).


C.2. Reglamento de Operaciones y Permiso de Trabajo Energizado, de acuerdo a norma NFPA 70E, 130.1 (A) (B) [1]; múltiples empresas de energía eléctrica utilizan dentro de sus procesos un Reglamento que define la forma en cómo se deben efectuar las actividades dentro del sistema eléctrico. El objetivo es controlar la seguridad del personal y evitar fallas en los sistemas eléctricos, evaluando los riesgos y estableciendo responsabilidades. Además, se debe justificar el realizar trabajos en circuitos energizados, considerando todos los controles necesarios.

C.3. Técnicas de Evaluación de Riesgos [5]; dentro de las técnicas de evaluación de riesgos, una de las más utilizadas es el llamado AST: Análisis de Seguridad del Trabajo. Dicho método describe paso a paso las tareas que componen determinada actividad, identifica los riesgos relacionados y luego incluye las medidas de control que el grupo de trabajo debe adoptar. La recomendación es realizar este AST en el lugar donde se desarrollarán las tareas.

C.4. Capacitación y entrenamiento, NFPA 70E, 110.6 [1]; Se debe establecer un programa de entrenamiento, específico para el personal expuesto a peligros eléctricos, ya sea personal de mantención o aquellos que regularmente deben operar las instalaciones eléctricas. Dentro de la capacitación, ésta debe contemplar procedimientos de emergencia, entrenamiento para personal calificado y no calificado, fronteras y distancias de seguridad y en lo específico la diferencia en controles para prevenir el shock eléctrico y el relámpago de arco. Esta actividad debe documentarse. La empresa de Telecomunicaciones que adscribió al Proyecto (Telefonica S.A.), fue asesorada en un programa de capacitación específico (orientada a personal técnico y expertos en prevención de riesgos), con énfasis en el reconocimiento de peligros de las líneas eléctricas en postación, distancias de seguridad y control operacional para trabajadores del proceso “planta externa”, además de la muestra de equipos de seguridad eléctrica que contempló el presente proyecto. Se analizaron casos de accidentes eléctricos graves.



Figura 92: Curso de Capacitación específico de peligro eléctrico en Empresa de Telecomunicaciones.

Seguridad Eléctrica en trabajos de Telecomunicaciones cerca de líneas eléctricas energizadas		ACHS
Nombre Grupo: _____	Fecha: _____	
Nota: Anotar al reverso nombre de participantes		
Caso N° 4		
Trabajador al desestrobarse hace contacto con línea de Media Tensión, recibiendo descarga y luego sufre caída desde aproximadamente 8 metros de altura		
La condición de instalación de crucetas en nuevo proyecto, hace suponer una distancia mínima hacia conductores energizados.		
Causas	_____	

Medidas de Control	_____	

Figura 93: Caso de estudio de análisis de accidentes eléctricos en proceso de Telecomunicaciones como parte del Curso de Seguridad Eléctrica.

D. Actividades que requieren análisis y control de peligros eléctricos; a modo informativo, se presenta un listado tipo de actividades que deben abordarse en un programa de seguridad eléctrica (no excluyente):

- Trabajos en alta, media y baja tensión.
- Trabajos en o cerca de líneas aéreas de distribución y transmisión (sean o no trabajos eléctricos, por ejemplo trabajos de empresas de comunicaciones).
- Trabajos en recintos eléctricos de potencia, como subestaciones, especialmente orientado a obras civiles, como excavaciones, fundaciones y montajes.
- Trabajos en recintos con atmósferas explosivas.
- Trabajos con circuitos vivos o energizados.

E. Implementación de EPP; de acuerdo a la norma NFPA 70E, 130.2 (A), 130.3 [1], para cada trabajo eléctrico se debe realizar un análisis de peligro de choque eléctrico y de relámpago de arco. El primero, depende principalmente del nivel de voltaje del sistema eléctrico a intervenir y de la distancia de trabajo. El de relámpago, depende del nivel de energía incidente disponible en el sistema eléctrico, dependiente principalmente del nivel de cortocircuito, el tiempo de

operación de la protección eléctrica asociada al sistema que se evalúa y la distancia de trabajo. La categoría de riesgo (HRC, "Hazard Risk Category", categoría de peligro/riesgo) en un equipo eléctrico, se establece desde el nivel 0 hasta el nivel 4, en función del nivel de energía incidente del sistema eléctrico como potencial de falla. Sin embargo, el ATPV relacionado a cada categoría establece el uso de equipamiento a partir de la energía incidente mayor. Por ejemplo, la categoría 2 indica una energía incidente calculada entre 4 y 8 cal/cm². Sin embargo, el ATPV para esta categoría corresponde a 8 cal/cm² y considera ropa FR (ignífuga o resistente a la llama, de acuerdo a tabla N°1 y figura 9). Por otro lado, este equipamiento debe complementarse con la protección contra el choque eléctrico: guantes y zapatos dieléctricos (cubre-calzado), manguillas si corresponde y con equipos para verificación de ausencia de tensión.

F. Distancia de Seguridad Eléctrica; de acuerdo a la norma NFPA 70E, 130.2 (B), Tabla 130.2 (C), 130.3 (A) [1], se establecen distancias de seguridad de acuerdo a diversos criterios. Para la prevención del shock eléctrico se establecen los valores de distancia de acuerdo al nivel de voltaje de los equipos o líneas eléctricas expuestas. La NFPA 70E, define un criterio para personal no calificado (cualquier usuario) y otro específico para trabajadores calificados, con el equipamiento necesario para prevenir accidentes eléctricos. En la tabla 32 se muestran estas distancias. Cabe señalar que en conjunto con la SEC se trabajó en un criterio para unificar y establecer sólo 2 distancias de seguridad de acuerdo a la figura 94. Por otro lado, la distancia de relámpago de arco, se basa en la tolerancia de calor que la piel humana puede soportar, en función de la mencionada "Curva Stoll" [7]-[9]. El límite de Relámpago representa la distancia mínima que un trabajador sin ropa FR (ropa con tratamiento ignífugo) pueda acercarse a una fuente de arco eléctrico, quien recibiría una energía equivalente a lesiones de quemaduras de segundo grado (1,2 cal/cm²). Esta distancia se calcula con métodos de ingeniería de acuerdo a Tabla 33. Esta frontera puede estar dentro o fuera de las fronteras de shock eléctrico y dependerá de la potencia del equipo donde eventualmente se produzca la falla eléctrica.

Tabla 32. Distancias de seguridad de acuerdo a niveles de voltaje en Corriente Alterna [1]

Límites de aproximación a “partes vivas” para la protección contra el shock eléctrico en sistema eléctrico de corriente alterna (C.A.)				
Todas las dimensiones son distancias desde “partes vivas” al trabajador (en metros)				
1	2	3	4	5
Rango de voltaje nominal	Frontera aproximación limitada		Límite aproximación restringida, incluye movimientos inadvertidos	Límite de aproximación prohibida
	Exposición a conductores móviles	Exposición a conductores fijos		
0 - 50 V	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado
50 V – 300 V	3,0	1,0	Evitar el contacto	Evitar el contacto
301 – 750 V	3,0	1,0	0,3	25 mm
751 V – 15 kV	3,0	1,5	0,7	0,2
15,1 kV - 36 kV	3,0	1,8	0,8	0,3
36,1 kV - 46 kV	3,0	2,5	0,8	0,4
46,1 kV - 72,5 kV	3,0	2,5	1,0	0,6
72,6 kV - 121 kV	3,3	2,5	1,0	0,8
138 kV - 145 kV	3,4	3,0	1,2	1,0
161 kV - 169 kV	3,6	3,6	1,3	1,1
230 kV - 242 kV	4,0	4,0	1,7	1,6
345 kV - 362 kV	4,7	4,7	2,8	2,6
500 kV - 550 kV	5,8	5,8	3,6	3,5
765 kV - 800 kV	7,2	7,2	4,9	4,7

Nota 1: La distancia de seguridad para personal no calificado se desprende de la columna 2, de acuerdo a los niveles de voltaje.

Nota 2: las columnas 4 y 5 representan fronteras para personal calificado con el equipamiento de seguridad y entrenamiento necesario.

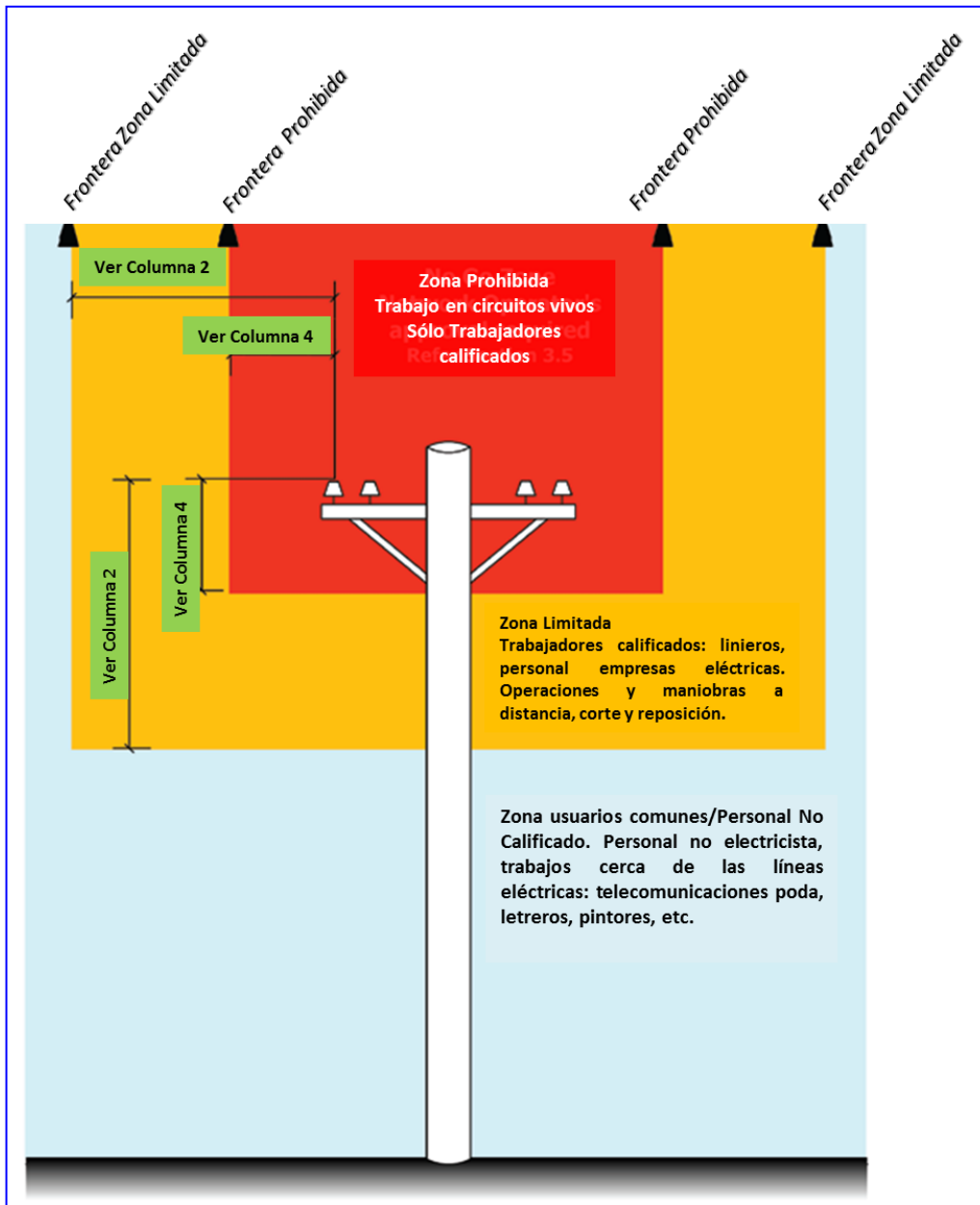


Figura 94: Ejemplo de Distancias de seguridad aplicadas a una línea eléctrica

Tabla 33. Métodos para el cálculo de la distancia de relámpago de arco.

Met	Condición (área de contacto)	Fórmula	Notas
1	$I_{cc} \times t \leq 5.000(\text{Amper} - \text{seg.})$	$D_c = 1,22m$	I_{cc} : máxima corriente falla (A) t: duración falla en segundos D_c : distancia de Arc Flash (m)
2	$I_{cc} \times t > 5.000(\text{Amper} - \text{seg.})$	(3.19) $D_c = [\sqrt{2,65 \times MVA_{bf} \times t}] \times 0,3048$ (3.20) $D_c = [\sqrt{53 \times MVA \times t}] \times 0,3048$ (3.21) $MVA_{bf} = V_{ff} (kV) \times I_{cc} \times \sqrt{3} \times 1.000$	MVA_{bf} : Potencia máxima de falla disponible MVA: Potencia disponible (Transformadores, para menos de 0,75 MVA, se multiplica por 1,25 veces)
3	$16.000A \leq I_{cc} \leq 50.000A$ "Arco en sistemas abiertos"	(3.22) $D_c = \left(\left(\frac{5,271 \times t \times (0,0016I_{cc}^2 - 0,0076I_{cc} + 0,8938)}{1,2} \right)^{1/1,9593} \right) \times 0,0254$	
4	$16.000A \leq I_{cc} \leq 50.000A$ "Arco en caja"	(3.23) $D_c = \left(\left(\frac{1,038,7 \times t \times (0,0093I_{cc}^2 - 0,3453I_{cc} + 5,9675)}{1,2} \right)^{1/1,4738} \right) \times 0,0254$	
5	$700A \leq I_{cc} \leq 106kA$ $208V \leq V \leq 15kV$	(3.24) $D_c = \left[C_f \times E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \times \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{1/x}$	C_f : factor 1, $V > 1KV$ y 1,5 $V < 1KV$ E_n : Energía normalizada E_B : Energía máxima de exposición sin protección termal. (1,2 cal/cm ²) D_c : distancia de Arc Flash *Notar que en esta formulación la distancia se expresa en mm.

5.13 Seguridad eléctrica incorporada en la gestión del experto en prevención

En la experiencia norteamericana (EE.UU.), los especialistas y técnicos eléctricos llevan a cabo programas de seguridad eléctrica, considerando los aspectos técnicos, mantenimiento, procedimientos de trabajo seguro, diseño de la instalación eléctrica, análisis de riesgos, y las funciones de los EPP a utilizar. Sin embargo, la familiaridad con sistemas de gestión como ANSI Z10, OHSAS 18.001 u otros, no es del todo conocida. Por otro lado, los especialistas en seguridad y salud ocupacional (prevencionistas de riesgos), no lo son en el ámbito de seguridad eléctrica. La formación es genérica y no específica en estas temáticas [44]. Sólo la experiencia acumulada y determinados entrenamientos, apoyan el conocimiento técnico de estos profesionales en los requisitos de seguridad eléctrica. La realidad analizada en Chile no dista de lo anterior. Al realizar un análisis de por lo menos 15 informes técnicos de investigación de accidentes eléctricos graves y fatales, se constata la inconsistencia entre el análisis de causas, las medidas de control y la real forma de gestionar los peligros. Por ejemplo, sólo un informe menciona el nivel de voltaje de la línea eléctrica donde el trabajador sufre el contacto eléctrico. Como se vio anteriormente, este dato es relevante para establecer controles de distancia en trabajos cercanos a líneas eléctricas, especialmente de trabajos no eléctricos. Entonces, la solución a esta problemática es la homologación e integración de las metodologías, de manera que el sistema tenga la misma estructura de un sistema de gestión, con el mejoramiento continuo, ocupándose de los aspectos técnicos de seguridad eléctrica que son relevantes implementar. En este sentido, la jerarquía de control no sufre modificaciones, aun cuando se especifica los estándares y normativas de control, de manera de hacer más efectiva la gestión de riesgos eléctricos. La sinergia esperada entre los especialistas de una u otra materia deben integrarse de manera tal, de generar comités de seguridad eléctrica integrados y colaborativos (figura 95). En el historial de una compañía investigada en la evolución de los incidentes (1984-2008) [44], con un sistema de gestión de Seguridad y Salud Ocupacional y un programa de seguridad eléctrica maduros demuestra más de un 60% de la reducción de lesiones recordables derivadas de peligros eléctricos bajo la lógica de una revisión crítica del programa de seguridad eléctrica integrándolo al sistema de gestión SSO. Hasta el año 2003, los programas iban por líneas paralelas, con resultados regulares y con ciertos picos de incidentes en determinados períodos. En la compañía investigada, se realizó un análisis a finales de los años 90, por un equipo que integró a los expertos eléctricos y los profesionales de seguridad, incluyendo a las gerencias. Dicho análisis identificó una deficiencia fundamental. Los programas avanzaban sin integración y el de seguridad eléctrica no poseía los elementos de mejora continua que sí se aplicaban en los sistemas de gestión SSO que emprendía la compañía. A partir de ese hallazgo, la integración de los sistemas de gestión y el trabajo mancomunado, dio como resultado una baja en los incidentes en los períodos sucesivos (figura 96).

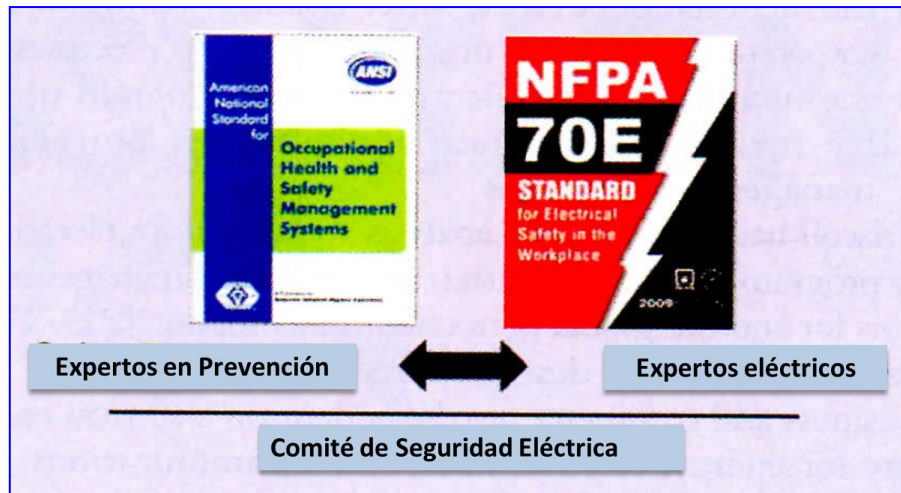


Figura 95: Integración de un sistema de gestión SSO (ANSI) con un estándar de seguridad eléctrica, como la Norma NFPA 70E

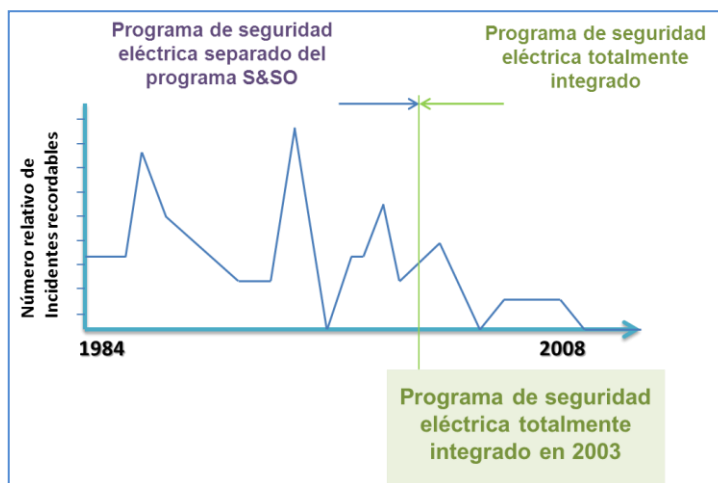


Figura 96: Evolución de accidentes de una compañía eléctrica (Fortune 100 en EE.UU.), relativo a lesiones por arc flash y shock eléctrico entre los años 1984 y 2008, resultados globales de empleados y contratistas. Caso de integración de los programas de seguridad eléctrica [44].

Gestión de apoyo especializado con foco en defectos normativos de las instalaciones

Dado que las instalaciones defectuosas representan aproximadamente el 20% de los casos de accidentes eléctricos graves y que afecta al 16% denominado “usuarios” de las instalaciones, el área de especialidades (Seguridad Industrial y Medio Ambiente) dependiente de la Gerencia de Estrategia y Desarrollo de ACHS, realiza evaluaciones cualitativas y cuantitativas de cumplimiento de requisitos normativos de instalaciones eléctricas en empresas adheridas que solicitan este servicio o a partir de la evaluación

del experto red que atiende a dichas empresas, respecto a requisitos de la Nch-elec 4/2003 (instalaciones interiores de baja tensión). A través de la herramienta PUSH en ACHS, se espera focalizar este tipo de intervenciones y generar herramientas y check list para expertos en prevención. La forma como se lleva a cabo la evaluación es realizada por un especialista con todo el equipamiento requerido para realizar las evaluaciones de seguridad eléctrica, con instrumentación de apoyo y software relacionados. Los principales tópicos que se analizan y sobre los cuales se orienta a las empresas adherentes son:

- Evaluación termográfica para la detección de puntos calientes (sobretensión de componentes que puede dar inicio a un amago de incendio por fallas de resistivas, de arco eléctrico u otras).
- Comprobación de seguridad eléctrica (diferenciales y sistemas de tierra) con instrumento adecuado para estos fines.
- Evaluación cualitativa de defectos normativos.
- Evaluaciones de electricidad estática.
- Análisis de fallas y accidentes eléctricos.

Asesoría en gestión de riesgos eléctricos

La base de un programa de seguridad eléctrica es la gestación de cultura preventiva. Cualquier gestión en este sentido debe apuntar a establecer ciertos controles de acuerdo a un orden lógico. La metodología usual para controlar los riesgos es la jerarquía de control, donde las medidas más efectivas parten desde la eliminación del riesgo (en muchos casos esto no es posible), pasando por la sustitución de tecnologías o sistemas de energía, luego aplicando controles de ingeniería, controles administrativos (procedimientos, entrenamientos, prácticas de trabajo seguro, entre otras), hasta llegar a la última etapa que es la menos efectiva y que tiene que ver con el uso de EPP adecuados al riesgo. Para llevar a cabo este control, se viene asesorando a las empresas, ya sea a través de asesorías específicas u otras de implementación, basada en la norma NFPA 70E para gestión de seguridad eléctrica. Con esta perspectiva, se busca disminuir los accidentes en base a la asesoría especializada en aquellos focos que representan accidentes en trabajos en un entorno eléctrico, es decir, con un grado de especialización, en instalaciones fijas de potencia y líneas (60% de los casos en su conjunto) y en trabajos en sistemas energizados y operaciones (26% de los casos). Respecto a los controles de ingeniería, éstos consideran principalmente el cumplimiento de los requisitos de ingeniería de las instalaciones, tecnología de seguridad eléctrica (equipos arco-resistentes, detectores de fallas por arco, protecciones diferenciales, etc.). Otra figura complementaria es la implementación de Programas de Seguridad Eléctrica con objetivos y metas y un desarrollo planificado de intervención en la empresa. Es así como en una cadena de supermercados se implementó en determinados locales definidos una intervención con análisis de riesgo, capacitaciones e implementación de estándar de acuerdo a modelo NFPA 70E. Es un plan piloto que se encuentra en

marcha y que busca generar mayores controles en el entorno eléctrico, controlando peligros para las empresas eléctricas que intervienen el sistema, así como para los usuarios por posibles defectos o fallas del sistema eléctrico. Además se deben integrar a los requisitos para prevenir el choque eléctrico en el personal electricista. Es decir, el uso de protección aislante en las extremidades (guantes y zapatos aislados, de acuerdo al nivel de voltaje), uso de detectores de ausencia de tensión, pértigas y herramientas aisladas, entre otros.

Gestión de apoyo a expertos sectoriales

Mediante un trabajo en equipo, se han ido diseñando herramientas para los sectores donde se ha visto un incremento de los accidentes. Es así como se inició el año 2014 un trabajo colaborativo para dar a conocer al sector de construcción una herramienta a través de un manual de prevención de riesgos eléctricos, con dos focos principales: la correcta ejecución de las instalaciones provisionales de obra y las medidas de prevención para evitar contactos con líneas eléctricas o tendidos soterrados, generalmente de media tensión (12.000 o 23.000 V). Este último aspecto ha derivado en accidentes generalmente por acortamiento de distancia a líneas eléctricas con elementos conductores de la electricidad en actividades no eléctricas. Similarmente y con un sentido de protección integral se diseñó el primer semestre de 2013 un curso de seguridad eléctrica para telecomunicaciones, con el reconocimiento del sistema eléctrico, niveles de voltaje, distancias de seguridad y EPP específico para el control de los riesgos eléctricos. Este curso se integró con talleres teórico-prácticos y con capacitaciones para expertos en prevención del Cliente y de ACHS.

6. CONCLUSIONES

Para poder actuar sobre los accidentes de trabajo, es preciso saber: cuándo, dónde, cómo y por qué se producen, ya que sólo a partir de este conocimiento, fruto de una exhaustiva clasificación, se podrán establecer las técnicas adecuadas para su prevención. Es por ello, que el análisis estadístico de los accidentes de trabajo es fundamental, ya que de la experiencia pasada y adecuados registros, además de un análisis certero, se pueden determinar los planes de prevención futuros y reflejar a su vez la efectividad y el resultado de las normas de seguridad adoptadas.

El realizar un catastro de accidentabilidad eléctrica a nivel de la Asociación Chilena de Seguridad, representa una tendencia importante en la realidad nacional, debido a la cobertura de esta mutualidad a nivel país (mayor a un 50% en el sistema privado). Si bien el número total de accidentes eléctricos es muy acotado, éstos representan un potencial alto de gravedad. Se debe gestionar como parte de un protocolo de control de riesgos fatales: los peligros eléctricos requieren de un conocimiento más técnico y preventivo aún mayor.

Las bases estadísticas de accidentabilidad no señalan la información correcta sobre los accidentes generados por contacto eléctrico, puesto que existe un número importante de casos que no son clasificados como tal. El error se centra en la definición de la variable cualitativa (“exposición al arco eléctrico”) y a la cuantitativa, en el sentido que un número mayor al 50% de casos, corresponde a la categoría de “exposición a radiaciones no ionizantes”. Otra debilidad del sistema es la clasificación errónea de accidentes eléctricos en otras categorías de tipo de accidentes. El mayor número de casos se encuentra en la categoría “Otros Tipos”. Producto de que la base estadística no señala la información correcta sobre los accidentes generados por contacto eléctrico, es complejo establecer tendencias y pronósticos respecto a la casuística de accidentes eléctricos a nivel país respecto a las empresas adheridas a la Asociación Chilena de Seguridad. Por ello, antes de analizar tendencias, la estadística se ha corregido, luego de un análisis detallado de relatos, para definir los accidentes eléctricos correctamente.

Para normalizar la información, es importante realizar procesos de mejora en el ingreso de información que se realiza mediante la Declaración Individual de Accidentes del Trabajo (DIAT). Es importante considerar un proceso de capacitación, que permita al personal de ingreso de DIAT completar y tipificar adecuadamente los accidentes de origen eléctrico y separándolos de aquellos relacionados a radiaciones no ionizantes, derivadas principalmente de lesiones por trabajos de soldadura al arco. Para tipificar adecuadamente el tipo de accidente por “contacto con energía eléctrica”, se recomienda considerar como referencia, el criterio técnico establecido en la ANSI Z10. El hecho de normalizar la tipología correcta para la categoría de accidentes con energía eléctrica, se relaciona directamente con los procedimientos internos de ACHS en relación a la construcción de Matrices de Riesgo para sus

empresas afiliadas, donde el criterio para el caso de la energía eléctrica, corresponde a “contacto con electricidad”. Lo anterior, queda reflejado en una débil gestión de peligros eléctricos de parte de los expertos en prevención. Del análisis de variados casos e informes de investigación se concluye el desconocimiento de los sistemas eléctricos. En sólo un informe se indica el nivel de voltaje involucrado. Dicho dato, por ejemplo, es fundamental, ya que a partir de este parámetros se desprenden las distancias de seguridad eléctrica.

Queda de manifiesto una alta tasa de mortalidad de los accidentes eléctricos (10-13% respecto al total). Éstos inciden notoriamente en las tasa de fatalidad a nivel laboral. Los accidentes eléctricos tienen un alto impacto en la gravedad y en general en el promedio de días perdidos, que se encuentra 6 puntos sobre la media del resto de accidentes. Además los accidentes eléctricos graves (17% aprox.), representan aproximadamente el 80% de los días perdidos. De éstos, por lo menos un 35% son casos referidos al fenómeno del relámpago de arco, mientras que el restante al choque eléctrico. Estos accidentes afectan principalmente a trabajadores electricistas (42%), obreros de cualquier otro oficio no eléctrico (21%), usuarios de las instalaciones (16%) y operarios de maquinaria (13%). Es así como, las medidas de control en el ámbito de trabajadores electricistas deben ser de tipo operacional (procedimientos, estándares EPP, buenas prácticas), mientras que en el nivel operario y usuario las medidas de control deberán enfocarse en el cumplimiento de requisitos normativos de las instalaciones. En actividades de construcción y trabajos cerca de líneas eléctricas, se debe concentrar los esfuerzos en reconocer el peligro de las líneas y el concepto de distancia de seguridad como requisito ineludible.

Los costos ocultos son mayores a los costos directos. Los costos de los accidentes eléctricos tan sólo reflejan una muestra respecto al total de accidentes eléctricos de origen laboral que ocurren en el país. Al realizar una proyección a nivel nacional, se puede llegar a una cifra de 1.500 millones de pesos (2,5 millones de dólares) en el período de los 4 años analizados, esto sólo reflejando los costos directos de los accidentes, considerando el restante 53% de masa laboral, cubierta a través del ISL (Instituto de Seguridad Laboral), Mutual de Seguridad, IST (Instituto de Seguridad del Trabajo) y organismos de administración delegada del seguro, establecido en la ley 16.744. Claramente, existe una serie de costos ocultos que en muchos casos, representan más del 50% del costo directo, dentro de los cuales destaca el reemplazo del puesto laboral del trabajador accidentado, detención del proceso por daños a las instalaciones, daños a la imagen de empresa y negocio, costos por demandas civiles y penales, entre otros.

El conocimiento del peligro eléctrico y sus sub-clasificaciones (por choque y relámpago de arco), supone un mayor grado de comprensión de las medidas de control de riesgos, focalizadas respecto a la operación de un sistema eléctrico. La protección eléctrica tanto hacia el trabajador como al propio sistema eléctrico debe ser integral.

El clasificar los accidentes graves por tipo de instalación (grupo de agentes) y por tipo de trabajo (fuente), aclara los aspectos preventivos que se deben enfatizar para el control adecuado de los peligros eléctricos. Se observa que se requieren medidas de prevención, especialmente para aquellos trabajos no eléctricos cerca de tendidos aéreos (mantención de luminarias, telecomunicaciones, letreros y señalización vial, obras de construcción, etc.).

La evaluación de riesgos en las instalaciones nos orienta en medidas y prioridades concretas para su normalización. Las empresas deben favorecer tanto la operatividad del sistema eléctrico como también la seguridad del sistema hacia los usuarios.

También se requiere especial atención en el ámbito de la seguridad eléctrica especializada para el personal electricista de potencia, que sufre graves consecuencias, especialmente en sistemas de media tensión o de alta energía (subestaciones eléctricas, tableros generales, líneas aéreas).

El implementar un Programa de Seguridad Eléctrica provee a las empresas una mejor comprensión de la forma de gestionar sus peligros eléctricos, mejora los estándares de mantención y aumenta el conocimiento del personal sobre los peligros eléctricos.

Sobre la base del análisis anterior y tomando en cuenta la agrupación de variables críticas más representativas identificadas, se ha establecido un plan de acción a nivel del área de especialidades técnicas con especialista de seguridad eléctrica y con un trabajo de apoyo a la red de expertos en prevención y trabajo por sector económico, con el fin de definir herramientas preventivas y apoyo a la gestión de prevención de accidentes eléctricos fatales.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] NFPA 70E. National Fire Protection Association. "Norma sobre requisitos de seguridad eléctrica en lugares de trabajo" Versión en español 2009.
- [2] Llanaez Alejandro- Randell B. Hirschmann, "Arcos eléctricos y la historia del EPP", 2004, NFPA Journal Latinoamericano.
<http://arcoselectricos.blogspot.com/>
- [3] R. H. Lee, "The other electrical Hazard: Electrical Arc Blast Burns", IEEE Transactions on Industrial Applications.
<http://ewh.ieee.org/soc/ias/pcic/archive/The%20other%20Electrical%20Hazard%20%20%20Electric%20Arc%20Flash%20Burns.pdf>
- [4] ABB S.A. "Estándar Arc Flash para seguridad eléctrica". Normas y equipamiento.
- [5] Muñoz Chacón César, "Estudio de Arc Flash, Programas de seguridad Eléctrica y Seguridad Funcional" USACH 2011, Trabajo de Titulación de Ingeniería Ejecución en Electricidad.
- [6] Pérez Formigó Marcos, "Descargas Eléctricas", Trabajo Fin de Master Universidad de Sevilla, año 2009.
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70196/fichero/Capitulo2%252Fcapitulo3.pdf>
- [7] AISS/ISSA, Asociación Internacional de Seguridad Social, "Guía para la selección de equipamiento de protección personal contra los efectos térmicos de un arco eléctrico", 2ª edición 2011.
http://etf.bgetem.de/htdocs/r30/vc_shop/bilder/firma53/ivss_001s_a04-2012.pdf
- [8] Schneider Electric, "Cuaderno Técnico Nº 038, Arcos de defecto en los juegos de barras de los cuadros", España, Octubre 1996.
- [9] Cadick-Capelli-Neitzel. "Electrical Safety Handbook", Ed. Mc GrawHill, 2006.
- [10] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Real Decreto 614, "Riesgo Eléctrico, NTP 400 (Nota Técnica Preventiva), Corriente eléctrica: efectos al atravesar el organismo humano". España 2001.
- [11] Organización Internacional del Trabajo, "Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo", Capítulo 40 Electricidad. España edición 2001.
- [12] Guerrero Fernández/Porras Criado: "Seguridad en las Instalaciones Eléctricas", Ed. McGraw-Hill, España, 1997.
- [13] Garcés Mario/Artigas René: "Quemaduras", Chile, Edición 1995
- [14] OSHA. Administración de Seguridad y Salud Laboral del Dep. del Trabajo de EE.UU. Quemaduras eléctricas.
http://www.osha.gov/SLTC/etools/construction_sp/electrical_incidents/burn_examples.html
- [15] Mangelsdorff/García Huidobro/Nachari/Atenas/Whittle/Villegas, "La quemadura eléctrica por alto voltaje es un factor predictor de mortalidad en pacientes grandes quemados", Chile, Artículo Investigación, 2011.
- [16] Bendlin/Linares/Benaim, "Tratado de quemaduras", México, Edición 1993.

- [17] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, “Nch-elec 4/2003, Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión. Nseg. 5En71, ELECTRICIDAD. Instalaciones de Corrientes Fuertes”.
- [18] Comisión Asesora Presidencial para la Seguridad en el Trabajo, Gobierno de Chile “Informe Final CST”, Noviembre 2010.
<http://www.previsionsocial.gob.cl/cst/wp-content/uploads/downloads/2010/12/Informe-Final-CST.pdf>
- [19] Instituto Nacional de Estadísticas Chile. Estadísticas Vitales años 2007-2011.
http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/estadisticas_vitales/estadisticas_vitales.php
- [20] Ahmad, Boschi-Pinto, Lopez, Murray, “Age standardization of rates: a new WHO standard”, GPE Discussion Paper Series: No.31, World Health Organization 2001.
<http://www.who.int/healthinfo/paper31.pdf>
- [21] Danilla Enei, J. Pastén Rojas, G. Fasce Pineda, V. Díaz Tapia, M. Iruretagoyena Bruce, “Mortality trends from burn injuries in Chile: 1954–1999”, Paper año 2004, Editorial Elsevier.
- [22] Superintendencia de Seguridad Social, Gobierno de Chile, “Cuenta Pública 2012 Superintendencia de Seguridad Social”, Año 2013.
http://www.suseso.gob.cl/Repositorio/19572%5C23.05%20Cuenta_Publica_SUSESO_2012_.pdf
- [23] Departamento de Estadísticas e Información de Salud, Ministerio de Salud, Chile. Estadísticas de Mortalidad Laboral.
<http://www.deis.cl/>
- [24] Asociación Chilena de Seguridad. Centro de Fichas preventivas
<http://www.achs.cl/trabajadores/Capacitacion/Centro%20de%20Fichas/Paginas/Como-prevenir-accidentes-por-contacto-directo-al-operar-tableros-electricos.aspx?category=Trabajadores-Capacitaci%C3%B3n50Centro%20de%20Fichas60Alerta%20Fatal>
- [25] Asociación Chilena de Seguridad SAGIP-Base Salud, Gerencia de Prevención ACHS. Año 2009-2010-2011-2012.
- [26] Hospital del Trabajador ACHS, Libro Ingresos pacientes Unidad Cirugía Plástica y Quemados, Registro 2009-2012.
- [27] Hospital del Trabajador ACHS, Unidad Gestión Clínica, Ingresos y costos atenciones médicas pacientes quemados en Hospital Trabajador ACHS, Registro Año 2012-2013.
- [28] Fordyce, Kelsh, T.Lu, Sahl, Yager, “Thermal burn and electrical injuries among electric utility workers, 1995–2004”, Paper año 2006, Editorial Elsevier.
- [29] The Electrical Safety Foundation International, “20 Years of Electrical Injury Data Shows Substantial Electrical Safety Improvement”, Paper año 2012, EE.UU.
esfi.org/index.cfm/pk/download/id/12394/.../3003
- [30] NIOSH, Publication No. 98-131, “Worker Deaths by Electrocution. A Summary of NIOSH Surveillance and Investigative Findings, EE.UU. 1998.
<http://www.cdc.gov/niosh/docs/98-131/pdfs/98-131.pdf>
- [31] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Informe de accidentes

- eléctricos en Chile, fiscalizados por SEC, año 2005-2010, (Informe AU004P-0004789, 17 octubre 2011).
- [32] Ministerio de Energía, Superintendencia de Electricidad y Combustibles, IRH Consultores Ltda. “Estudio Instalaciones Eléctricas Interiores”, Chile año 2012.
 - [33] Junta Nacional de Bomberos de Chile: “Memoria anual, año 2012”.
http://www.bomberos.cl/bomberos2011/revista/revistadigital/memoria_2012/parte01/memoria12_parte01.html
 - [34] Cuerpo Bomberos Puente Alto, “Estadística de incendios años 2010-2012”.
 - [35] NFPA. “Manual Protección contra incendios”, año 2012.
 - [36] Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), “Incendio y Explosión”.
http://www.istas.ccoo.es/descargas/gverde/INCENDIO_EXPLOSION.pdf
 - [37] IAEI. Artículos IAEI Magazine.
<http://www.iaei.org/?page=currentissue>
 - [38] NFPA 921, “Guía para la investigación de fuego y explosiones”, edición 2011.
 - [39] IEEE Industry Applications Magazine, Enero-Febrero 2007, Paper de seguridad eléctrica.
<http://www.ieee.org/ias>
 - [40] Wilson Robert A. Harju Rainer, Keisala Juha, Ganesan Sethuraman “Tripping with the Speed of Light”, Paper ABB, año 2007.
<http://www05.abb.com>
 - [41] SEL-751A, Feeder Protection Relay, Manual de Instrucciones, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.
<http://www.selinc.com>
 - [42] ABB S.A. Presentación monitor de arco: Arc Guard System™ TVOC-2
 - [43] ABB S.A. Presentación Tableros Metal Clad Arco Resistentes “Safegear” de ABB, 2009.
 - [44] IEEE Industry Applications Magazine, Mayo-Junio 2011, Paper de seguridad eléctrica.
www.ieee.org/ias