

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

INGENIERÍA TÉCNICA INFORMÁTICA DE GESTIÓN



DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ACCIDENTES LABORALES

AUTOR: Guillermo García Vargas
TUTOR: Ignacio Cascos Fernández

Madrid, Junio 2011

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Mavi y Tomás, porque gracias a su cariño, comprensión y apoyo, he conseguido llegar donde estoy. Gracias por enseñarme a valorar lo que es realmente importante (porque no es más rico el que más tiene...), a ser una persona honrada y gracias por vuestro esfuerzo para que los tres hermanos pudiéramos recibir una sobresaliente educación.

A mis hermanos, M^a José y Tomás, porque son sin duda un gran ejemplo para mí. He aprendido muchas cosas de cada uno de ellos, a pesar de ser muy diferentes y lo mejor de todo es que aún sigo aprendiendo de los dos.

Por supuesto, a mis dos novias, la que nunca puede quedar conmigo, casi siempre por motivos de estudio y la que quiere estar a todas horas a mi lado. Gracias a María, por ser un apoyo incondicional a lo largo de todos estos años, por su generosidad, por su infinita paciencia, por sus palabras de ánimo. En definitiva, gracias por estar siempre a mi lado porque "si tú no estás aquí, aquí a mi lado, de nada vale ya lo que se y mi doctorado".

A mis grandes amigos y compañeros de universidad, Pablo, Paco, Pedro, Pablito, Jose Alberto, Manu, Javi, Noel.... Gracias por todos los momentos tan especiales que hemos pasado juntos, por aconsejarme y ayudarme cuando más lo necesitaba y por nuestras salidas nocturnas.

También a Ripoll, Pymen, Jota, Nachín, Paco, Emilio, Diego, Manu y en general a todo el grupo, por conseguir que las horas parezcan segundos.

Gracias también a Jose por hacer feliz a mi madre y hacerle tanta compañía y también a Laura que está siempre muy pendiente de mi hermano.

Agradecer a mi tutor, Ignacio, sus preciados consejos y el haberme brindado la oportunidad de realizar este proyecto, por el tiempo que me ha dedicado y por sus inestimables correcciones, por sus valiosas sugerencias y en general por la ayuda prestada.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. EL TRABAJO Y LA SALUD. LEGISLACIÓN	3
I. EL TRABAJO Y LA SALUD: LOS RIESGOS PROFESIONALES. FACTORES DE RIESGO	4
I.1. Introducción.....	4
I.2. El trabajo.....	5
I.3. La salud.....	5
I.4. Condiciones de trabajo y factores de riesgo.....	5
I.5. Daños a la salud producidos por el trabajo	7
II. MARCO NORMATIVO Y ELEMENTOS BÁSICOS DE GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS.	9
II.1. Derechos y deberes básicos.....	9
II.2. Las directivas comunitarias	10
Alcance y fundamentos jurídicos.....	10
Directivas sobre seguridad del producto	10
Directivas sobre seguridad y salud en el trabajo	10
II.3. Legislación básica aplicable	12
La Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL)	12
El Reglamento de los Servicios de Prevención	12
Reglamentaciones técnicas específicas derivadas de la LPRL	13
Otras disposiciones.....	13
II.4. La gestión de la prevención en la empresa	14
Introducción	14
Evaluación de Riesgos.....	16
Planificación de la prevención.....	16
La organización de la prevención.....	17
II.5. Organismos públicos relacionados con la seguridad y salud en el trabajo.....	17
Instituciones y organismos internacionales.....	17
Organismos nacionales.....	18
Organismos de carácter autonómico	19
III. DESCRIPCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO.....	20
I. INTRODUCCIÓN.....	21
II. DATOS	21
III. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.....	24
IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO	25
IV.1. Introducción.....	25
IV.2. Horas del turno.....	25
IV.3. Secciones.....	26
IV.4. Categorías	29
IV.5. Causas de accidente.....	30
IV.6. Agentes causantes	32
IV.7. Envasado	33

IV. MODELO ESTÁTICO	35
I. TIPO DE DATOS.....	36
II.DISTRIBUCIÓN DE DATOS	37
II.1. Test de la bondad de ajuste	37
Test ji-cuadrado (χ^2)	37
III. IDENTIFICACIÓN DE TASAS	40
III.1. "Auxiliares 2ª" frente a "Oficiales y Jefes"	41
III.2. "Auxiliares 1ª" frente a "Oficiales y Jefes"	44
III.3. "Auxiliares 1ª" frente a "Auxiliares 2ª"	45
III.4. Conclusiones.....	46
IV. PREDICCIÓN.....	47
IV.1. Número de accidentes en un intervalo de tiempo.....	47
Número de accidentes en un año	47
Número de accidentes en un mes	48
IV.2. Tiempo mínimo esperado entre 2 accidentes.....	48
Tiempo mínimo esperado entre accidentes de "Oficiales y Jefes".....	49
Tiempo mínimo esperado entre accidentes del mismo trabajador.....	50
V. MODELO DINÁMICO	51
I. INTRODUCCIÓN.....	52
II. TIPOS DE DATOS.....	54
III. PRIMER MODELO	56
III.1. Ajuste de regresión	56
III.2. Diagnósis	57
III.3. Predicción.....	60
IV. SEGUNDO MODELO	62
IV.1. Ajuste de regresión.....	62
IV.2. Diagnósis	63
IV.3. Predicción.....	67
V. CONCLUSIONES	68
VI. CONCLUSIONES	70
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	72

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Cómo influye el trabajo en la salud.....	4
Figura 2: Distribución de los accidentes por hora de de la jornada (en porcentaje).....	25
Figura 3: Distribución de la fábrica por secciones.....	26
Figura 4: Relación n° accidentes/ n° trabajadores por secciones.....	27
Figura 5: Número de accidentes y trabajadores dividido por secciones.....	28
Figura 6: Número de accidentes y trabajadores por categorías.....	30
Figura 7: Evolución temporal de accidentes en envasado.....	33
Figura 8: Poisson de media 10,83.....	38
Figura 9: Frecuencia observada del número de accidentes en un mes.....	39
Figura 10: Función de densidad Normal $\alpha = 0,05$, sección rayada $H_1 : \lambda_1 \neq \lambda_2$	42
Figura 11: Función de densidad Normal $\alpha = 0,05$, sección rayada $H_1 : \lambda_1 > \lambda_2$	43
Figura 12: Ajuste de una recta de regresión a una nube de puntos.....	53
Figura 13: Evolución de la tasa accidentes de “Oficiales y Jefes” en envasado.....	55
Figura 14: Logaritmo de la tasa accidentes.....	55
Figura 15: Residuos frente a valores ajustados.....	58
Figura 16: Residuos frente a tiempo.....	58
Figura 17: Gráfico Q-Q de los residuos (del primer modelo) frente a una distribución Normal.....	59
Figura 18: Residuos de los meses de invierno.....	64
Figura 19: Residuos de los meses de invierno.....	64
Figura 20: Distribución de los residuos de invierno frente a los de verano.....	65
Figura 21: Distribución de los residuos de invierno y verano.....	65
Figura 22: Gráfico Q-Q de los residuos (del segundo modelo) frente a una distribución Normal.....	66
Figura 23: Intervalos de confianza del primer y segundo.....	69
Figura 24: Intervalos de predicción del primer y segundo.....	69

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Factores de riesgo de accidentes.....	6
Tabla 2: Distribución de los accidentes por hora de la jornada.....	25
Tabla 3: Ratios de accidentes por secciones.....	27
Tabla 4: Ratios de accidentes por categorías.....	29
Tabla 5: Distribución de los accidentes por causas.....	30
Tabla 6: Distribución de los accidentes por agentes causantes.....	32
Tabla 7: Tasas de accidentes por categorías.....	36
Tabla 8: P-valores de los diferentes contrastes.....	46
Tabla 9: Primer modelo, todas las variables.....	56
Tabla 10: Primer modelo, variables significativas.....	57
Tabla 11: Intervalos de confianza (al 95%) para el primer modelo.....	60
Tabla 12: Intervalos de predicción (al 95%) para un año específico (cualquiera), para el primer modelo.....	61
Tabla 13: Segundo modelo, todas las variables.....	62
Tabla 14: Segundo modelo, variables significativas.....	62
Tabla 15: Residuos de los meses de invierno.....	63
Tabla 16: Residuos de los meses de verano.....	63
Tabla 17: Intervalos de confianza (al 95%) para el segundo modelo.....	67
Tabla 18: Intervalos de confianza (al 95%) para el segundo modelo (REDUCIDA).....	67
Tabla 19: Intervalos de predicción (al 95%) para un año específico (cualquiera), para el segundo modelo (REDUCIDA).....	68

I. INTRODUCCIÓN

El tema de la seguridad en el trabajo está a la orden del día. De hecho hay anuncios en los medios de comunicación que advierten de la obligación que tienen los empresarios de proporcionar los medios y la de los trabajadores de utilizarlos con sensatez para trabajar con seguridad.

El objetivo final es accidentabilidad CERO, pero sabemos que conseguirlo es muy difícil. Para acercarse a esa cifra es necesaria la colaboración de todos. Uno de los trabajos que se pueden hacer en esta línea es, conociendo las causas de los accidentes más usuales, tomar medidas preventivas para evitarlos.

La metodología a seguir en este proyecto será partir de un fichero de accidentes de una empresa de fabricación y envasado de bebidas, con una plantilla más o menos constante y unos accidentes con características comunes para realizar nuestro estudio.

El objetivo de este proyecto es distribuir los accidentes ateniéndonos a ciertas variables (categoría profesional del trabajador, sección del trabajador, hora de trabajo, etc.) para comprobar si éstas influyen en la frecuencia de los accidentes.

En la sección de envasado, que es la que tiene mayor número de trabajadores y de accidentes, haremos un estudio más profundo llegando a hacer predicciones estadísticas de los accidentes que va a haber en años futuros.

II. EL TRABAJO Y LA SALUD. LEGISLACIÓN

I. EL TRABAJO Y LA SALUD: LOS RIESGOS PROFESIONALES. FACTORES DE RIESGO.

I.1. Introducción

El trabajo y la salud están fuertemente relacionados. Por un lado, el trabajo es una actividad que el individuo desarrolla para poder tener una vida digna; es necesario trabajar porque así conseguimos satisfacer nuestras necesidades de supervivencia, en un medio en el que los recursos, además de escasos, no siempre son utilizables tal como se presentan. Además el trabajo es una actividad por medio de la cual desarrollamos nuestras capacidades tanto físicas como intelectuales.

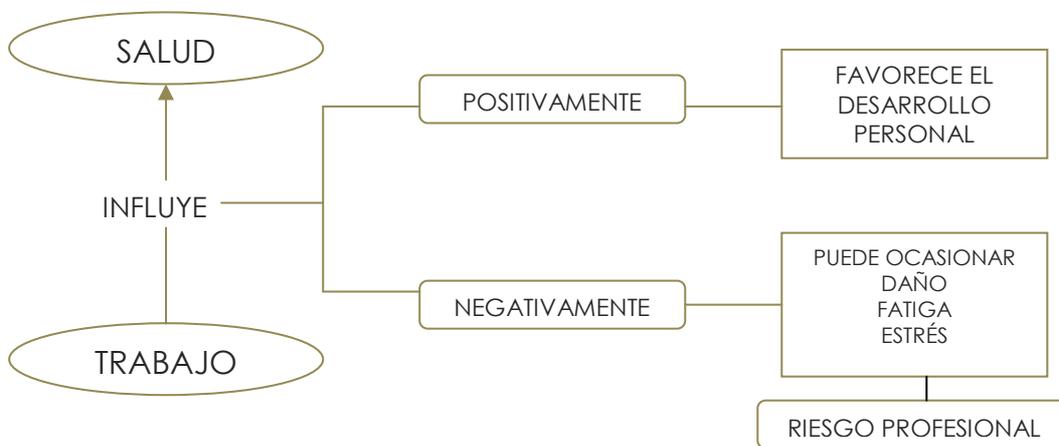


Figura 1: Cómo influye el trabajo en la salud

Junto a esta influencia positiva del trabajo en la salud, existe también una influencia negativa; trabajando se puede perder la salud, cuando el trabajo se desarrolla en condiciones inadecuadas. Los daños en la salud que el trabajo puede provocar son múltiples, los más conocidos son las lesiones provocadas por accidentes y las enfermedades profesionales, pero desde una visión más amplia del concepto salud, también estaría en la categoría de daños a la salud la insatisfacción que muchas veces provocan diversos aspectos del trabajo como la monotonía, la falta de comunicación, una autonomía insuficiente, un horario poco compatible con la vida social y familiar, etc.

Aunque teóricamente estos aspectos del trabajo puedan parecer temas menores, en la práctica no lo son; de hecho, todos conocemos casos de personas para quienes este tipo de “agresión” resulta insoportable y que acaban cambiando de trabajo porque “no están a gusto”, a veces incluso siendo perjudicado económicamente en el cambio.

1.2. El trabajo

¿Qué es el trabajo?. No es fácil encajar en una definición sencilla una realidad tan compleja como el trabajo humano. Se ha definido como trabajo toda actividad de transformación de la naturaleza, pero dichas actividades no son exclusivas del hombre; los pájaros construyen nidos; los castores, diques; los conejos, madrigueras; las abejas, paneles, etc.

La actividad laboral humana posee, sin embargo, características específicas que la hacen sustancialmente diferente de la desarrollada por los animales. El trabajo humano se caracteriza por su tecnificación, es decir, por el hecho de que el ser humano inventa continuamente herramientas y máquinas que le permiten llevar a cabo la transformación de la naturaleza de forma cada vez más cómoda y, por tanto, con mayor *productividad*.

1.3. La salud

Si el concepto de trabajo es complejo, el de salud no le va a la zaga. No existe un único concepto de salud. De entre las definiciones de salud, la más conocida es, sin duda, la elaborada en 1948 por la Organización Mundial de la Salud (OMS); esta definición se ha instaurado como referencia universal:

Estado de bienestar físico, mental y social completo y no meramente la ausencia de daño o enfermedad.

1.4. Condiciones de trabajo y factores de riesgo

El riesgo laboral es la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo (art 4.2 del Reglamento de los Servicios de Prevención (RSP)). Para clarificar un riesgo desde el punto de vista de su gravedad, se valorarán conjuntamente la probabilidad de que se produzca un daño y la severidad del mismo. Si establecemos una escala de riesgos, el grado más bajo sería el nulo y el más alto el de peligro.

El art 4.4 del RSP define el riesgo laboral grave e inminente, como aquel que resulte probable racionalmente que se materialice en un futuro inmediato y pueda suponer un daño grave para la salud de los trabajadores.

No son únicamente los factores materiales los que determinan la ocurrencia de accidentes, sino que también influyen los aspectos organizativos, como un ambiente o método de trabajo no adecuado, unos trabajadores no debidamente seleccionados y formados para el trabajo que realizan, horarios, etc.

En la Tabla 1 se puede ver una clasificación del conjunto de factores de riesgo que pueden intervenir en la ocurrencia de los accidentes:

Tabla 1: Factores de riesgo de accidentes

AGENTES MATERIALES	ENTORNO AMBIENTAL	CARACTERÍSTICAS PERSONALES	ORGANIZACIÓN
Herramientas	Iluminación	Aptitudes	Formación
Sustancias peligrosas	Ruido	Actitudes	Sistemas de comunicaciones
Instalaciones	Orden	Conocimientos	Métodos y procedimientos
Objetos			
Máquinas			

Cuando hablamos de prevención nos referimos a:

El conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de la actividad de la empresa con el fin de disminuir los riesgos derivados del trabajo.

Para evaluar el riesgo de accidente es necesario considerar la contribución que pueden tener diferentes factores de riesgo. Aunque llegar a conocer la probabilidad de determinados acontecimientos no es tarea fácil, al no disponer siempre de suficientes datos históricos o experiencias. Es al menos necesario tener una idea sobre el orden de magnitud de la probabilidad, ya que con ello podemos establecer prioridades de actuación para eliminar o controlar aquellas situaciones que ofrezcan un mayor riesgo.

De esta manera, la actividad de prevención se inicia con la localización de situaciones de trabajo que pueden culminar en accidentes, lo que se denomina como detección de riesgos, como fase previa a la evaluación de los mismos. En la fase de evaluación de riesgos, se deberán combatir de raíz los **riesgos** que se consideren **evitables** y los **inevitables** (art 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL)) se deberán evaluar y en función de los resultados, planificar las actuaciones preventivas correspondientes que garanticen el mayor nivel de protección posible.

1.5. Daños a la salud producidos por el trabajo

Nuestra legislación de Seguridad Social diferencia los supuestos o situaciones protegidas, llamadas **contingencias**, según la causa que las origina, en:

Comunes: el accidente no laboral y la enfermedad común, esto es no relacionado o causado por el trabajo.

Profesionales: el accidente de trabajo y la enfermedad profesional, causadas por el trabajo.

La diferenciación no es una cuestión intrascendente, pues los accidentes o enfermedades causados por una contingencia profesional van a tener un tratamiento privilegiado respecto a aquellos que deriven de una contingencia común. La cuantía de las prestaciones derivadas de contingencias profesionales, son siempre superiores a la cuantía de las prestaciones causadas por contingencias comunes.

Las definiciones legales en España de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales son las que da la Ley General de Seguridad Social (LGSS) (art 115 y 116):

Accidente de trabajo: Toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecuta por cuenta ajena.

Enfermedad profesional: Toda aquella contraída a consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena, en las actividades específicas en el cuadro aprobado en las disposiciones de desarrollo de esta Ley y que esté provocada por la acción de los elementos o sustancias que en dicho cuadro se indiquen para cada enfermedad profesional

La definición de enfermedad profesional desde el punto de vista técnico es:

Enfermedad profesional o derivada del trabajo es aquel deterioro lento y paulatino de la salud del trabajador producido por una exposición crónica a situaciones adversas, sean estas producidas por el ambiente en que se desarrolla el trabajo o por la forma en que este se encuentra organizado.

Hay que diferenciar los accidentes de los **incidentes** que son:

Sucesos anormales, no queridos ni deseados, que se presentan de forma brusca, inesperada e imprevista y que dificultan o interrumpen la normal continuidad del trabajo sin causar daños a las personas.

Los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales son efectos negativos del trabajo sobre la salud, pero delimitar la prevención a la lucha contra los accidentes y enfermedades profesionales supondría definir la salud como ausencia de daño o enfermedad, abarcando una parte importante pero solo una parte, de la definición propuesta por la OMS.

El trabajo es una actividad para cuya realización es necesario invertir determinadas energías, tanto físicas como mentales. Es comúnmente admitido que trabajar es sinónimo de fatigarse. Y, ciertamente la fatiga es la consecuencia lógica del esfuerzo realizado, pero siempre que se mantenga dentro de unos límites que permitan al trabajador recuperarse del esfuerzo realizado.

II. MARCO NORMATIVO Y ELEMENTOS BÁSICOS DE GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS.

II.1. Derechos y deberes básicos

El derecho a la vida y a la integridad física y moral es un derecho fundamental recogido en el artículo 15 de la **Constitución Española**. Paralelamente al tratar de la política social y económica, se establece el deber que tienen los poderes públicos de “velar por la seguridad e higiene en el trabajo” (art. 40.2).

En este sentido el **Estatuto de los Trabajadores (ET)** impone, como condición de la relación de trabajo, el derecho que tienen los trabajadores “a su integridad física y a una adecuada política de seguridad e higiene” (art. 4.2) e incluso a “una protección eficaz en materia de seguridad e higiene” (art. 19.1).

La **LPRL** pone de manifiesto una vez más, en su artículo 14, “el derecho que tienen los trabajadores a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo”, así como el “deber del empresario de protección de los trabajadores frente a los riesgos laborales”.

Según se detalla en la Ley, forman parte de este derecho de los trabajadores:

- Ser informados y formados en materia preventiva.
- Ser consultados y participar en las cuestiones relacionadas con la prevención de riesgos.
- Poder interrumpir la actividad en caso de riesgo grave e inminente.
- Recibir una vigilancia de su estado de salud.

Además el empresario “deberá garantizar la seguridad y salud de los trabajadores a su servicio en todos los aspectos relacionados con el trabajo” (art. 2) conforme con los principios generales de prevención.

Por su parte, corresponde a los trabajadores velar, según sus posibilidades, por su seguridad y salud, y por las de aquellas otras personas a las que pueda afectar su actividad profesional.

II.2. Las directivas comunitarias

Alcance y fundamentos jurídicos

Una de las políticas más importantes de la Unión Europea es la política social. Dentro de ella se encuentra la política de "Seguridad y salud de los trabajadores en el lugar de trabajo", cuyo propósito es fijar unos niveles mínimos de protección que se apliquen por igual a los trabajadores de todos los países europeos de la unión.

En el artículo 118 A del Tratado constitutivo de la Unión Europea señala que "Los Estados miembros procurarán promover la mejora, en particular, del medio de trabajo, para proteger la seguridad y salud de los trabajadores y se fijarán como objetivo la armonización, dentro del progreso, de las condiciones existentes en ese ámbito".

Los objetivos, en definitiva, son dos: aumentar la protección a todos los trabajadores y procurar que, en materia de seguridad y salud en el trabajo, no haya grandes diferencias entre un estado y otro (armonizar).

Directivas sobre seguridad y salud en el trabajo

La directiva fundamental en esta materia es la 89/391/CEE (Directiva del Consejo de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo). Aunque su título es bastante largo, recibe inmediatamente el sobrenombre de **Directiva "Marco" de Seguridad**. Es la directiva que fija las principales reglas de juego para los empresarios y los trabajadores en lo que se refiere a la mejora de la seguridad y salud en el trabajo. La directiva "Marco" fue transpuesta al derecho español mediante la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

La directiva "Marco" abre la puerta a un abanico de directivas específicas sobre seguridad y salud en el trabajo, que podemos clasificar en varios grupos, según su contenido:

1. Colectivos especiales de trabajadores. Dedicadas a ciertos colectivos que necesitan más protección: trabajadoras embarazadas, trabajadores temporales, jóvenes, etc.
2. Lugares de trabajo. Existe una directiva con este mismo título que establece los requisitos para el diseño y utilización de los lugares de trabajo en general. Además existen otras directivas sobre lugares de trabajo especiales (obras de construcción, canteras y minas, sondeos, buques de pesca, trabajos agrícolas, etc.).

3. Agentes contaminantes. Este es el grupo más numeroso y se refiere a la protección de los trabajadores frente a los riesgos relacionados con la exposición a agentes físicos, químicos y biológicos.
4. Otras directivas. Podemos destacar, por su importancia, las de utilización de equipos de trabajo, pantallas de visualización, manipulación de cargas, accidentes mayores en la industria o la de Equipos de Protección Individual (EPI).

Directivas sobre seguridad del producto

Además de las directivas sobre Seguridad y Salud en el Trabajo, la Unión Europea trabaja en otro frente: el de la seguridad del producto, es decir que todos los productos que se comercialicen en los países de la Unión sean "seguros" desde el momento de su puesta en el mercado.

El artículo 100 A del Tratado de la Unión europea señala que "la Comunidad deberá proceder a la armonización mediante directivas, de las disposiciones sobre los requisitos de seguridad que deben cumplir los productos para poder ser comercializados". Esta política tiene una gran influencia en el mundo del trabajo, ya que obliga a las máquinas, herramientas, materiales, equipos o productos que el trabajador va a utilizar en el desempeño de su trabajo cumplan, desde el momento de su comercialización, unas mínimas condiciones de seguridad garantizadas por el fabricante o por el vendedor.

Para que un producto pueda ser comercializado en Europa debe cumplir los requisitos esenciales establecidos para ese tipo de producto. En caso de que se cumpla, el fabricante o el importador, si se fabrica fuera de la Unión Europea, podrá estampar en él, en un lugar visible, el marcado "**CE**", que es una especie de "etiqueta de producto seguro".

Equivalente a la directiva "Marco" referida a Seguridad y Salud en el trabajo, existe una directiva denominada "Seguridad general en los productos" (92/59/CEE) que trata sobre las condiciones generales que deben cumplir los productos para ser comercializados en los países de la Unión Europea. Afecta a los productos utilizados en el trabajo y prácticamente todos los productos que pueden ser comprados o vendidos en Europa y que no están regulados por una directiva propia. Esta directiva ha sido transpuesta a nuestra legislación por el RD 44/1996.

II.3. Legislación básica aplicable

La Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL)

Esta ley traspone a nuestro derecho, además de la directiva “Marco”, que contiene la normativa básica de la política de prevención comunitaria, tres directivas relativas a la protección de la maternidad y de los jóvenes y al tratamiento de las relaciones de trabajo temporal. Hasta la aprobación de la Ley, esta materia estaba regulada fundamentalmente por la Ordenanza General de seguridad e Higiene en el Trabajo de 1971.

Cabe destacar el capítulo V que regula la consulta y participación de los trabajadores a través de los **Delegados de Prevención**. Estos son “*los representantes de los trabajadores con funciones específicas en materia de prevención de riesgos en el trabajo*” (art 35.1).

En este capítulo se cuenta cuales son exactamente las competencias y facultades de los Delegados de Prevención, el número de estos delegados que le corresponden a cada empresa, dependiendo del número de trabajadores que tiene cada empresa, las competencias del Comité de Seguridad y Salud, etc.

El “Comité de Seguridad y Salud” se constituirá en todas las empresas que cuenten con 50 o más trabajadores, este Comité es un órgano paritario de participación en la empresa, formado por Delegados de Prevención de una parte y por el empresario y/o sus representantes de otra (mismo número de representantes en ambas partes).

La empresa que vamos a tratar durante este estudio tiene 2 centros de trabajo, cada uno con 4 Delegados de Prevención, debido a que ambos centros cuentan con un número de trabajadores entre 501 y 1000. El Comité de Seguridad y Salud de cada centro está compuesto por estos 4 Delegados de Prevención y otros 4 miembros que acuden en representación de la empresa.

Cabe también destacar que los Delegados de Prevención (representantes de los trabajadores), en caso de accidente por alguna anomalía de las instalaciones, o de las máquinas o de falta de formación a los trabajadores, etc, no son responsables, el responsable es siempre el empresario.

El Reglamento de los Servicios de Prevención

El reglamento determina los procedimientos de evaluación de los riesgos para la salud de los trabajadores y las modalidades de organización, funcionamiento y control de los servicios de prevención, así como las capacidades y aptitudes que deben reunir dichos servicios y los trabajadores designados para desarrollar actividades preventivas.

La evaluación de riesgos viene definida en el capítulo III, sección primera, artículo 3 punto 1 de este Reglamento como:

El proceso dirigido a estimar la magnitud de los riesgos que no hayan podido evitarse, obteniendo la información necesaria para que el empresario esté en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la necesidad de adoptar medidas preventivas y, en tal caso, sobre el tipo de medidas que deben adoptarse.

Reglamentaciones técnicas específicas derivadas de la LPRL

La LPRL dice que el Gobierno regulará “los requisitos mínimos que deben reunir las condiciones de trabajo para la protección de la seguridad y la salud de los trabajadores” (art. 6.a).

En este sentido las reglamentaciones técnicas más importantes son las relativas a “lugares de trabajo” (estructuras, espacios y superficies, accesos, condiciones ambientales (iluminación, ventilación, temperatura, etc.) y servicios), “equipos de trabajo” (máquinas, aparatos, instrumentos o instalaciones) y “Equipos de Protección Individual (EPI) (guantes, gafas, cascos, protectores auditivos, etc.)”

Otras disposiciones

La LPRL establece unas líneas generales, a seguir por las empresas en materia de seguridad y salud en el trabajo. Dicha Ley se ha desarrollado a lo largo de 1997 con la aparición de diversos reglamentos (además del Reglamento de los Servicios de Prevención, mencionado anteriormente), que configuran la normativa española a seguir en la materia. Veamos a continuación algunos de ellos:

- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de *señalización* de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la *manipulación manual de cargas* que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.

- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen *pantallas de visualización de datos*.
- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de trabajadores contra riesgos relacionados con la *exposición a agentes biológicos* durante el trabajo.
- Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de trabajadores contra riesgos relacionados con la *exposición a agentes cancerígenos* durante el trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de *equipos de protección individual*.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de *equipos de trabajo*.
- Real Decreto 1216/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo a bordo de *buques de pesca*.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las *obras de construcción*.

A través de los convenios colectivos se pueden establecer disposiciones más favorables, especialmente para el ejercicio de los derechos de información, consulta y participación de los trabajadores en la Prevención de Riesgos Laborales.

II.4. La gestión de la prevención en la empresa

Introducción

Como consecuencia de la entrada en vigor de la LPRL, las políticas de prevención se han desplazado del macronivel del Estado al micronivel de la Empresa, donde empresarios y trabajadores adquieren todo el protagonismo, a la vez que los antiguos conceptos de seguridad e higiene en el trabajo han sido desplazados por otros conceptos más amplios como mejora de la calidad de vida o condiciones de trabajo.

El sistema de gestión de la prevención de riesgos laborales es la parte del sistema general de gestión de la organización, que define la política de prevención y que incluye la estructura organizativa, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos y los recursos para llevar a cabo dicha política.

A la empresa le corresponde la responsabilidad directa de la prevención, primeros auxilios y planificación de las emergencias que pudieran plantearse, las cuales están definidas por:

- La normativa establecida por la Administración en cumplimiento del deber de protección de los trabajadores.
- Los acuerdos establecidos con los trabajadores o con sus representantes a través de la negociación colectiva.
- La política social establecida por iniciativa de la propia empresa.

La acción preventiva debe ser planificada por el empresario a partir de la evaluación inicial de los riesgos. La documentación elaborada sobre evaluación de riesgos y la planificación de la acción preventiva se conservará a disposición de la autoridad laboral.

El Plan de Prevención se debatirá en el seno del Comité de Seguridad y Salud, y en él figurarán los calendarios establecidos para su cumplimiento.

Podrá contener los siguientes planes:

- Plan de corrección de deficiencias técnicas observadas
- Plan de profundización en la evaluación de riesgos
- Plan de formación general y específico (arts. 19, 24 y 28 de la LPRL)
- Plan de información (arts. 18, 24 y 28 de la LPRL)
- Planificación de control periódico (art. 16 de la LPRL)
- Planificación de emergencias (arts. 20 y 24 de la LPRL)
- Vigilancia médica de la salud de los trabajadores (art. 22 de la LPRL)
- Coordinación con otras empresas contratistas (art. 24 de la LPRL)
- Protección de los trabajadores especialmente sensibles (arts. 25, 26 y 27 de la LPRL)
- Organización y gestión de la prevención (arts. 15 y 16 de la LPRL)
- Normativa interna de seguridad y uso del material de protección (art. 23 de la LPRL)
- Control de adquisiciones y compras
- Normativa de investigación de accidentes

Evaluación de Riesgos

La evaluación de riesgos es el proceso dirigido a estimar la magnitud de los riesgos que no hayan podido evitarse. Es la primera acción a tomar, ya que nos permite conocer la situación en la que se encuentra nuestra empresa. La información que obtengamos a partir de la evaluación de riesgos nos servirá de base para determinar si hay que adoptar medidas preventivas y de que tipo.

Se realizará una Evaluación inicial de Riesgos, con carácter general e incluyendo a trabajadores sensibles a determinados riesgos. Además, se repetirá o revisará cuando se introduzca un cambio en las condiciones de trabajo, cuando exista una reglamentación específica de aplicación que así lo exija y/o cuando se detecten daños a la salud de los trabajadores, etc.

La Evaluación de Riesgos deben realizarla las personas designadas o contratadas por el empresario y que estén capacitadas para ello, tal y como se establece en el capítulo VI del Reglamento de Servicios de Prevención. Se tendrá en cuenta la información recibida de los trabajadores o sus representantes.

En la empresa estudiada, la Evaluación de Riesgos inicial fue realizada por una Mutua de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales de la Seguridad Social (MATEPSS).

Planificación de la prevención

Una buena planificación preventiva permitirá eliminar o controlar los riesgos que se hayan detectado. La planificación de la prevención consistirá básicamente en determinar:

- qué hay que hacer en materia de Prevención de Riesgos Laborales,
- cuándo hay que hacerlo,
- quién o quiénes son los responsables,
- qué recursos son necesarios y de qué recursos se dispone....

La organización de la prevención

El empresario podrá optar, teniendo en cuenta el tamaño y actividad de la empresa, entre las siguientes modalidades:

- Asumir personalmente la actividad preventiva
- Designar trabajadores para realizar la actividad preventiva (delegados de prevención)
- Constituir un servicio de Prevención Propio (con personal de la empresa)
- Contratar un servicio de prevención ajeno (constituido por entidades especializadas)

La tercera opción es la elegida por la empresa de nuestro estudio, con su servicio médico propio incluido.

II.5. Organismos públicos relacionados con la seguridad y salud en el trabajo

Instituciones y organismos internacionales

Dentro del Derecho del Trabajo y, especialmente en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo, adquieren especial importancia los Convenios elaborados en el seno de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y los Tratados y Directivas europeas asumidas por España al formar parte, como miembro de pleno derecho, de la Unión Europea.



La **Organización Internacional del Trabajo**, con sede en Ginebra, es sin duda, una de las organizaciones internacionales laborales más importantes, tanto por su antigüedad, como por la intensidad de sus actividades y el gran número de países a ella acogidos. Entre las funciones que realiza, cabe destacar: asistencia técnica, recopilación y difusión de información, elaboración y aprobación de Convenios y recomendaciones internacionales.

España es uno de los Estados que más Convenios de la OIT ha ratificado, siendo de máxima importancia el convenio 155, sobre Seguridad y Salud de los Trabajadores y Medio Ambiente de Trabajo, adoptado con fecha 22 de junio de 1981. En la misma fecha se adoptó la Recomendación 164, sobre Seguridad y Salud de los Trabajadores.



UNION EUROPEA

Otro organismo es la **Unión Europea** de la cuál España empezó a formar parte desde el 1 de enero de 1986. El Acta Única Europea, que entró en vigor el 1 de Julio de 1987, ha supuesto un paso adelante hacia la consecución de un espacio social europeo, ocupando la seguridad y salud de los trabajadores en un lugar prioritario.

En materia específica de Seguridad y Salud en el Trabajo cabe destacar los siguientes Órganos de la Unión:

- El Comité Consultivo para la seguridad, la higiene y la protección de la salud en los centros de trabajo, creado en 1974.
- La Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo, con sede en Bilbao (España)
- La Fundación Europea para la Mejora de las Condiciones de Vida y de Trabajo, con sede en Dublín (Irlanda)

Organismos nacionales

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)



Adscrito al Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, a través de la Secretaría General de Empleo, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo es el órgano científico técnico especializado de la Administración General del Estado, que tiene como misión el análisis y estudio de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo, así como la promoción y apoyo a la mejora de las mismas.

La LPRL establece que al INSHT le corresponden, entre otras, las funciones de asesoramiento técnico, promoción y desarrollo de actividades de formación, información, investigación, estudio y divulgación, desarrollo de programas de cooperación internacional, etc., contando con la colaboración, en su caso, de los órganos técnicos de las Comunidades Autónomas en materia.

El Consejo General del INSHT, es un órgano participativo en la gestión del instituto y en él están representadas las Organizaciones Sindicales y Empresariales y la Administración Pública.

Otros organismos nacionales relacionados con la seguridad y salud en el trabajo son los siguientes:

- **Inspección de Trabajo y Seguridad Social**
- **Administraciones Públicas competentes en materia sanitaria**
- **Otras Administraciones Públicas relacionadas con la Seguridad y Salud en el trabajo**
- **Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo** (integrada por un representante de cada una de las Comunidades Autónomas, y por igual de miembros de la Administración General del Estado y, paritariamente con todos ellos, por representantes de las organizaciones sindicales y empresariales más representativas).

Organismos de carácter autonómico

La Constitución Española, en su artículo 149.1.7º-, reserva al estado la competencia exclusiva en materia de legislación laboral, sin perjuicio de su ejecución por los órganos de las Comunidades Autónomas.

En este sentido, las Comunidades Autónomas que tienen transferidas las competencias en materia de ejecución de la legislación laboral, disponen de la potestad sancionadora, que se efectuará de acuerdo con su regulación propia, a propuesta de la Inspección de Trabajo y Seguridad Social. Igualmente y conforme con los respectivos Estatutos Autonómicos, las funciones y servicios que anteriormente venían desarrollando los Gabinetes Técnicos Provinciales del INSHT han quedado traspasados a las Comunidades Autónomas.

Los órganos de dichas Comunidades con competencias en Prevención de Riesgos Laborales reciben distintas denominaciones, según la Comunidad de que se trate. Desarrollan funciones como la investigación de accidentes, la formación y el asesoramiento técnico en estas materias y constituyen, junto con la Inspección de Trabajo, los órganos de la Administración que mantienen una relación más directa con los trabajadores y las empresas.

III. DESCRIPCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

I. INTRODUCCIÓN

La actividad principal de la empresa cuyos accidentes de trabajo vamos a estudiar es la fabricación y envasado de bebidas. Estas actividades se realizan en uno de sus dos centros de trabajo, el otro centro está dedicado a tareas administrativas.

Partimos de un fichero que nos facilita la empresa a través del servicio de prevención del centro donde está la fábrica. El jefe de seguridad, máximo responsable de la seguridad en el trabajo en ese centro, es quien ha proporcionado directamente los datos y garantiza la veracidad de los mismos.

II. DATOS

El fichero que nos da la empresa, contiene todos los accidentes leves o graves, con o sin baja, ocurridos en ese centro de trabajo durante los años 2007, 2008 y 2009. Es una tabla que contiene los siguientes datos:

1. **MES:** hay 36 meses diferentes correspondientes a los 3 años que abarca el estudio.
2. **Nº DÍAS BAJA:** la mayoría de los accidentes son sin baja, es decir que la celda está vacía.
3. **HORA DEL DÍA:** de 0:00 a 23:59 en este centro se trabaja durante todo el día y noche en la mayoría de las secciones.
4. **HORA DEL TURNO DE TRABAJO:** de 1 a 8, en la mayoría de las secciones el día se reparte en 3 turnos de 8 horas que son: mañana (de 7:00 a 15:00), tarde (de 15:00 a 23:00) y noche (de 23:00 a 7:00). En los puestos de administrativos se trabajan 7 horas y no trabajan por la noche.
5. **EDAD:** la edad que el trabajador tenía en el momento del accidente.
6. **SITUACIÓN CONTRACTUAL:** sólo hay 2 opciones: "FIJO" o "EVENTUAL".
7. **SECCIÓN:** en estos 3 años hay accidentes en 10 secciones diferentes que son: "EXPEDICIONES/LOGÍSTICA", "ENCARGADOS DE ENVASADO", "OFICINAS", "LIMPIEZA/PREPARACIÓN DE MÁQUINAS", "ENVASADO", "ALMACÉN APROVISIONAMIENTO", "ALMACÉN REPUESTOS", "MANTENIMIENTO/SERVICIOS TÉCNICOS", "FABRICACIÓN/COCCIÓN BODEGA", "LABORATORIO". Para el estudio que vamos a desarrollar, no vamos a tener en cuenta las secciones que no han sufrido ningún accidente, ni los trabajadores que en ellas se encuentran. La sección de envasado es la más importante, debido a que es la que más trabajadores tiene y más accidentes concentra.

8. **CATEGORÍA:** en el fichero, los accidentes están clasificados en trabajadores de 6 categorías profesionales distintas que son:

- **“Auxiliar 2ª”:** esta categoría, la tienen los trabajadores con contrato “EVENTUAL” en el grupo obrero, de los cuales el 97% trabaja en las secciones de “Envasado” y “Expediciones/Logística”.
- **“Auxiliar 1ª”:** cuando un trabajador “EVENTUAL”, pasa a tener una relación contractual con la empresa de carácter “FIJO”, automáticamente adquiere esta categoría durante aproximadamente 3 años, pasado ese periodo ascenderá a “Oficial 1ª”.
- **“Oficial 2ª”:** esta categoría, la poseen muy pocos en la empresa. En particular, en este centro de trabajo y durante estos 3 años (2007-09), la tenían, dependiendo de la época, unos 6 o 7 trabajadores, todos ellos de la sección de envasado.
- **“Oficial 1ª (1ªA)”:** este grupo contiene las categorías de “Oficial 1ª” y “Oficial 1ªA”, a la primera pertenecen la mayoría de los trabajadores de la empresa del grupo obrero (no cualificados), en casi todas las secciones anteriormente descritas, incluidos los que provienen mediante ascenso de la categoría “Auxiliar 1ª”. A la categoría de “Oficial de 1ªA” pertenecen todos los trabajadores de la sección de Mantenimiento/Servicios Técnicos y alguno más del resto de secciones.
- **“Jefe 2ª y 1ª”:** a este grupo pertenecen los jefes de las distintas secciones, pero solo vamos a tener en cuenta, los de envasado que son 22 Jefes de 2ª y 4 de 1ª.
- **“Titulados (Administrativos)”:** a este grupo pertenece, el personal que desarrolla sus actividades en las oficinas.

9. **AREA/LUGAR DEL ACCIDENTE:** zona, dentro del centro de trabajo, donde ha ocurrido el accidente.

10. **DESCRIPCIÓN DEL SUCESO:** es una breve descripción de cómo ha sucedido el accidente.

11. **CAUSAS DEL ACCIDENTE:** han sido clasificadas en 19 diferentes: “ACCIDENTES DE TRÁNSITO”, “ATRAPAMIENTOS POR Y ENTRE OBJETOS”, “ATROPELLOS”, “CAÍDA DE OBJETOS DESPRENDIDOS”, “CAÍDA DE OBJETOS POR MANIPULACIÓN”, “CAÍDA DE PERSONAS A DISTINTO NIVEL”, “CAÍDA DE PERSONAS AL MISMO NIVEL”, “CAUSADOS POR SERES VIVOS”, “CAUSAS NATURALES (INFARTO, EMBOLIA, .)”, “CONTACTOS CON SUSTANCIAS CÁUSTICAS Y/O CORROSIVAS”, “CONTACTOS ELÉCTRICOS”, “CONTACTOS TÉRMICOS”, “CORTES CON OBJETOS”, “GOLPES POR OBJETOS O HERRAMIENTAS”, “GOLPES Y CONTACTOS CON ELEMENTOS MÓVILES

DE MÁQUINAS", "PISADAS SOBRE OBJETOS", "PROYECCIÓN DE FRAGMENTOS O PARTÍCULAS", "SOBRESFUERZOS" y "OTROS".

- 12. AGENTE MATERIAL:** los agentes se clasifican también en 16 posibles: "Dispositivos y equipos de protección", "Edificios, elementos constructivos, superficies tránsito a distinto nivel", "Edificios, elementos constructivos, superficies tránsito al mismo nivel", "Edificios, elementos constructivos, superficies tránsito por debajo del nivel del suelo", "Elementos de distribución de materia y/o materiales", "Elementos de traslado, transporte y almacenamiento", "Equipos de oficina y personales", "Herramientas manuales", "Máquinas y equipos fijos", "Máquinas y equipos portátiles", "Materiales, objetos, productos, elementos constructivos de la máquina", "Motores, dispositivos de transmisión y almacenamiento energía", "Suelo y paredes de la ducha", "Sustancias químicas", "Vehículos" y "Ningún agente material o sin información".
- 13. DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN:** algunas posibilidades son: "Contusión", "Tendinitis", "Esguince", "Torcedura", "Quemadura", etc.
- 14. PARTE DEL CUERPO LESIONADO:** hace referencia a la zona donde se ha recibido el daño, pierna izquierda, muslo derecho, cara, etc.
- 15. OBSERVACIÓN:** en la mayoría de los accidentes esta celda está vacía, en algunos contiene un comentario como por ejemplo "llevaba guantes".

III. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

En esta memoria hemos incluido abundantes representaciones gráficas de los datos que manejamos, así como sus tablas resumen y hemos analizado los mismos con varias técnicas estadísticas. Entre las representaciones gráficas podemos encontrar: diagramas de barras, de sectores, de dispersión, histogramas, gráficos de evolución de series temporales, gráficos Q-Q. Las técnicas estadísticas utilizadas en el estudio son: contrastes de bondad de ajuste, ji-cuadrado y Shapiro-Wilk, contrastes paramétricos sobre las tasas de accidentes, regresión múltiple.

En el presente capítulo realizamos los primeros análisis y gráficos de las distribuciones de los accidentes dependiendo de una única variable (hora del accidente, categoría del trabajador, sección del trabajador, etc), así como las tablas de estas distribuciones de accidentes.

En el próximo capítulo IV (modelo estático) realizamos un contraste de bondad de ajuste *ji-cuadrado* (χ^2) para comprobar que los datos proceden de una distribución de *Poisson*. Hacemos también unos contrastes para comparar si son o no iguales las tasas de accidentes de distintas categorías. Seguidamente predecimos el número de accidentes en un intervalo de tiempo y el tiempo mínimo que debe haber entre dos accidentes, para dar una cota de alarma.

En el capítulo V (modelo dinámico) ajustaremos las tasas de accidentes mediante dos modelos de regresión múltiple a partir de una variable temporal y variables dicotómicas (que hacen referencia a cada uno de los meses del año en el primer modelo y a cada temporada invierno-verano en el segundo modelo) y con las que pretendemos reflejar la componente estacional.

Para obtener dichas gráficas y aplicar las técnicas mencionadas, se han utilizado los programas EXCEL, STATGRAPHICS 4.1 y R. El EXCEL se ha empleado para obtener la mayoría de las gráficas y realizar gran parte de los cálculos. Además, la base de datos de accidentes que se ha manejado se nos proporcionó en un fichero EXCEL, desde el cual se trabajó. Utilizamos el STATGRAPHICS para realizar los contrastes de normalidad (Shapiro-Wilk) y obtener los intervalos de confianza y predicción asociados a la regresión. Con él, se obtuvo también el histograma de la Figura 20. Finalmente el R se utilizó para obtener alguna gráfica específica, como las gráficas Q-Q o las de las Figuras 14, 15 y 16.

Respecto a la Figura 3, hemos empleado PHOTOSHOP Y AUTOCAD, para modificar la foto aérea obtenida a través del Visor SIGPAC, y así poder situar y diferenciar las distintas secciones de la fábrica, con el fin de crear un esquema más visual de la relación de n° accidentes/ n° trabajadores.

IV. ANALISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

IV.1. Introducción

Tomando los datos que tenemos en el fichero, podemos ir observando cómo se distribuyen los accidentes de trabajo, teniendo en cuenta solo una variable: hora del turno, sección, categoría, etc.

IV.2. Horas del turno

En la siguiente tabla podemos ver la distribución de los accidentes, repartidos entre las 8 horas que dura una jornada:

Tabla 2: Distribución de los accidentes por hora de la jornada

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Nº accidentes	66	108	81	85	89	90	107	78	704
Porcentaje	9,38%	15,34%	11,51%	12,07%	12,64%	12,78%	15,20%	11,08%	100%

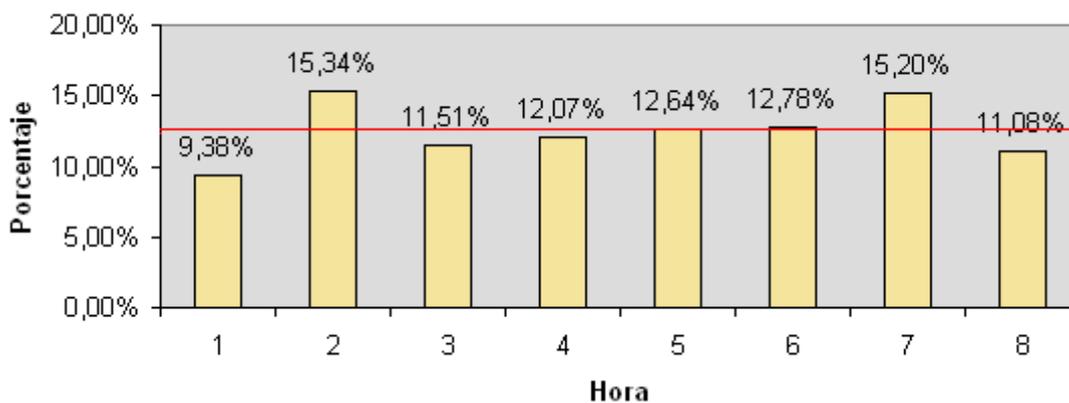


Figura 2: Distribución de los accidentes por hora de de la jornada (en porcentaje)

El porcentaje está calculado sobre el total de los accidentes que conocemos en que hora se produjo, con lo cual, si hubiese una distribución equitativa de los accidentes a lo largo de las 8 horas, habría un 12,5% de accidentes cada hora. La línea roja representa lo que sería la *media*, es decir el 12,5%.

Hay mucha literatura escrita que señala las primeras y las últimas horas de la jornada como aquellas con mayor número de accidentes. Las primeras por aquello de entrar un poco despistado o encontrarte el puesto de manera diferente a como uno lo dejó, en cuanto a las últimas horas de la jornada, se concentran más número de accidentes debido al cansancio de los trabajadores.

Como podemos ver en la Figura 2, en nuestra empresa la primera hora contiene muy pocos accidentes, estos se concentran más en la segunda hora, que es cuando todos los trabajadores ya están en su puesto de trabajo y trabajando, a partir de la tercera hora, hay un crecimiento constante a medida que van pasando las horas y va aumentando el cansancio de los trabajadores. La última hora tiene otro descenso de accidentes respecto a las anteriores horas, quizás por la disminución de empeño en el trabajo.

IV.3. Secciones

En la fábrica existen más secciones, pero en la siguiente figura vamos a representar sólo aquellas que han tenido al menos algún accidente en estos 3 años, acompañadas de 2 cifras, la primera es el **número total de accidentes** durante los 3 años y la segunda pertenece a la **media del número de trabajadores** que ha habido a lo largo de estos tres años (incluye todos los que están dados de alta en la empresa, es decir los que están en el turno de mañana, en el de tarde, en el de noche, de vacaciones, de baja... y la *media* (nº de trabajadores/año) de los temporeros(trabajadores eventuales)):

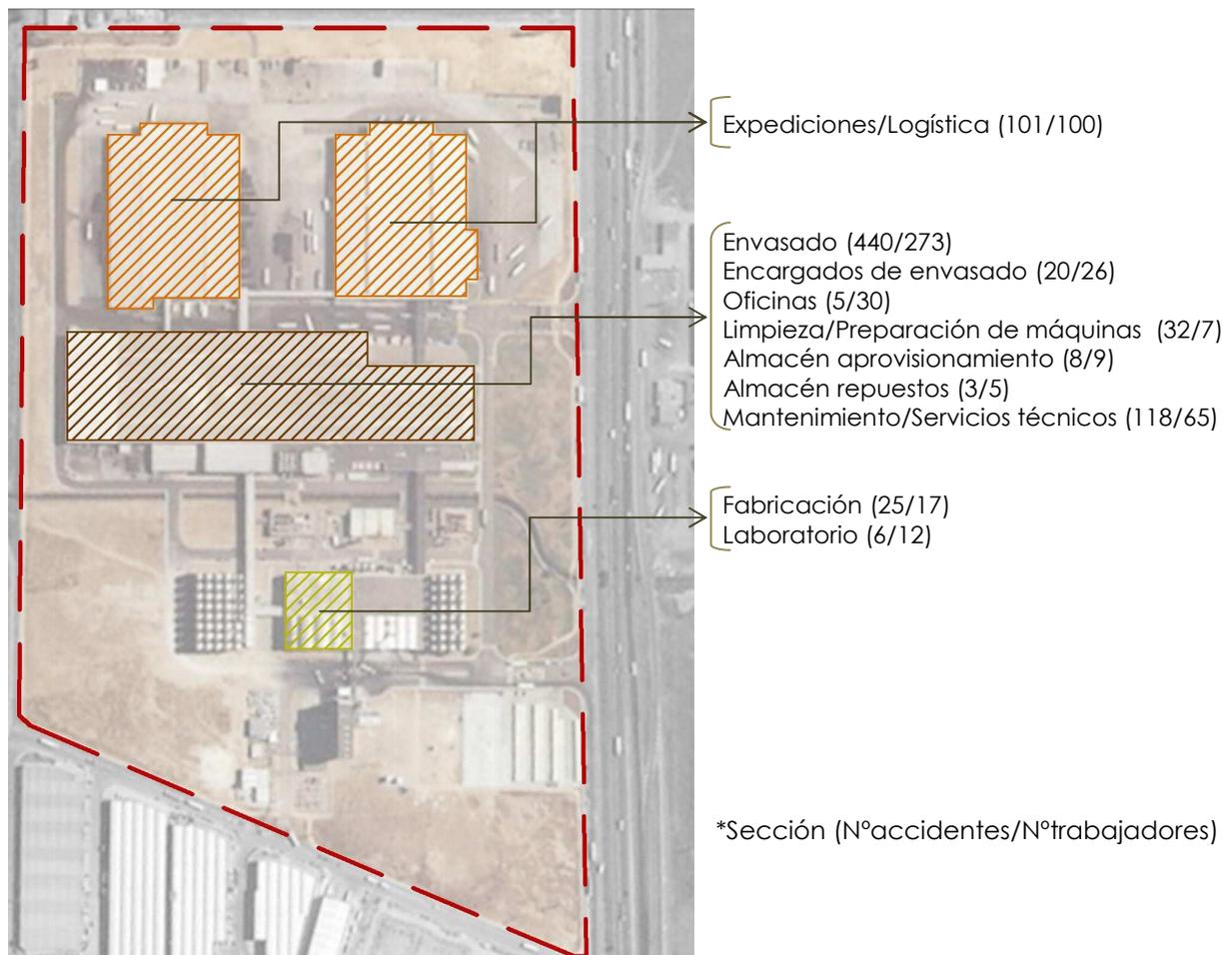


Figura 3: Distribución de la fábrica por secciones

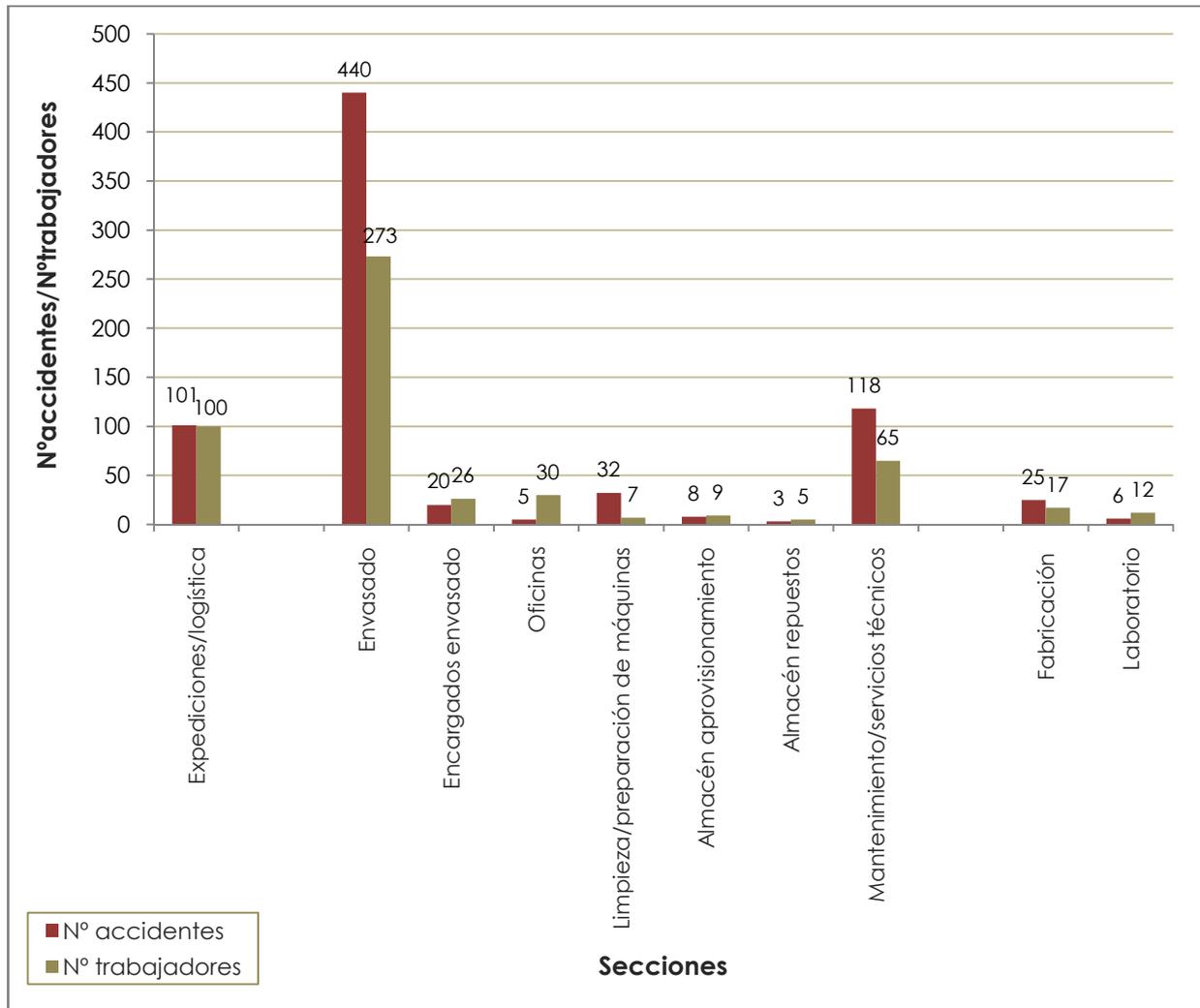


Figura 4: Relación nºaccidentes/nºtrabajadores por secciones

Poniendo estos datos sobre una tabla obtenemos:

Tabla 3: Ratios de accidentes por secciones

Sección	Nº accidentes	Nº trabajadores/as	Ratio
EXPEDICIONES/ LOGÍSTICA	101	100	1,01
ENCARGADOS DE ENVASADO	20	26	0,77
OFICINAS	4	30	0,13
LIMPIEZA/ PREPARACIÓN DE MAQUINAS	32	7	4,57
ENVASADO	441	273	1,62
ALMACÉN APROVISIONAMIENTO	8	9	0,89
ALMACÉN REPUESTOS	3	5	0,60
MANTENIMIENTO/ SERVICIOS TÉCNICOS	118	65	1,82
FABRICACIÓN/ COCCIÓN BODEGA	25	17	1,47
LABORATORIO	6	12	0,50
TOTAL	758	544	1,39

A simple vista, se pueden sacar varias conclusiones de esta tabla:

- Los empleados que más se accidentan con diferencia, son los de la sección de limpieza, hay que tener en cuenta que este trabajo se realiza siempre en el turno de noche, podría analizarse también si son siempre los mismos trabajadores o se accidentan todos en esta sección, ya que son 7 trabajadores.
- También se puede ver en la Tabla 3, comparando los ratios (nº de accidentes que ha tenido cada trabajador en estos 3 años), que las secciones que más accidentes sufren, quitando la sección de "Limpieza/Preparación de máquinas", son las de "Mantenimiento/Servicios técnicos", "Envasado" y "Fabricación/Cocción bodega", por el contrario, las secciones que son menos propensas a presenciar accidentes son "Oficinas" y "Laboratorio" seguidas del "Almacén repuestos".

Ahora veámoslo en forma de gráfico circular, para hacernos una idea de la distribución de los accidentes y trabajadores por las distintas secciones:

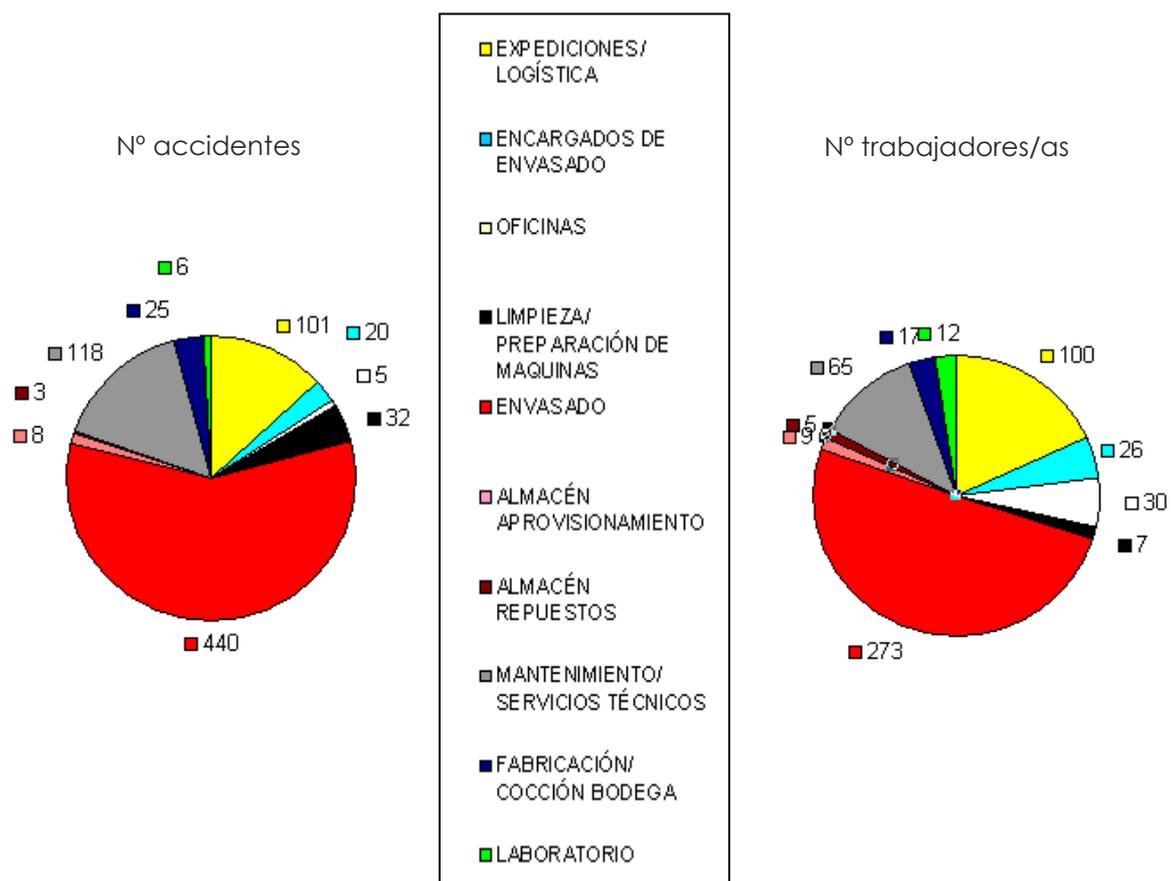


Figura 5: Número de accidentes y trabajadores dividido por secciones

Podemos observar que la sección de "Envasado", es la que cuenta con mayor número de trabajadores, seguida de las secciones de "Expedición" y "Mantenimiento/Servicios Técnicos" y por el contrario las secciones menos pobladas son las de "Almacén Repuestos", "Limpieza/Preparación de máquinas" y "Almacén aprovisionamiento". Estas últimas son secciones, cuyo estudio estadístico es más complejo por el hecho de haber muy pocas incidencias en el fichero de accidentes.

IV.4. Categorías

Como ya hemos mencionado anteriormente, los accidentes han sido sufridos por trabajadores, pertenecientes a 6 grupos de categorías profesionales diferentes, que mostramos en la siguiente tabla:

Tabla 4: Ratios de accidentes por categorías

Categoría	Nº accidentes	Nº trabajadores/as	Ratio
Auxiliar 2ª	80	33	2,42
Auxiliar 1ª	123	55	2,24
Oficial 2ª	19	7	2,71
Oficial 1ª (1ªA)	500	393	1,27
Jefes 2ª y 1ª	32	26	1,23
Titulados (Administrativos)	4	30	0,13
TOTAL	758	544	1,39

Si miramos los ratios de la Tabla 4 (nº de accidentes que ha sufrido cada trabajador en estos 3 años), los empleados que menos se accidentan son los "Titulados (Administrativos)", debido a tipo de actividad que desarrollan, siendo los más propensos a accidentarse aquellos trabajadores pertenecientes a las categorías profesionales más bajas dentro del grupo obrero, es decir "Auxiliar 2ª", "Auxiliar 1ª" y "Oficial 2ª".

En la siguiente figura, tenemos la distribución por las distintas categorías profesionales, de todos los accidentes que se recogen en el fichero. La suma total de accidentes (758), es la misma que en la distribución por secciones del apartado anterior. En cuanto al Nº de trabajadores, hemos tenido en cuenta, sólo los trabajadores (544) de las secciones que han tenido algún accidente en estos 3 años (las 10 secciones del apartado anterior). Obviando de este modo todos aquellos trabajadores de la fábrica, que pertenecen a otras secciones carentes de accidentes.

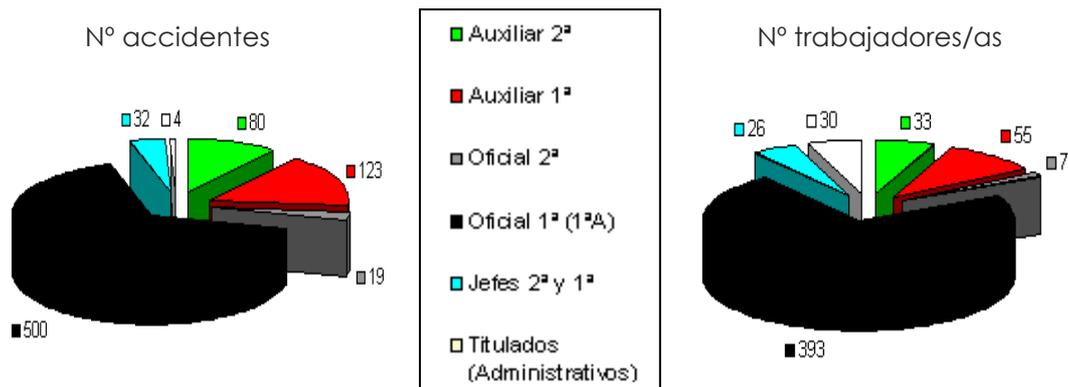


Figura 6: Número de accidentes y trabajadores por categorías

IV.5. Causas de accidente

En la siguiente tabla, se han dividido los accidentes en 19 posibles causas, que son las siguientes:

Tabla 5: Distribución de los accidentes por causas

Causas de accidente	Nº accidentes	Porcentaje
ACCIDENTES DE TRÁNSITO	7	0,95%
ATRAPAMIENTOS POR Y ENTRE OBJETOS	30	4,09%
ATROPELLOS	18	2,46%
CAÍDA DE OBJETOS DESPRENDIDOS	3	0,41%
CAÍDA DE OBJETOS POR MANIPULACIÓN	10	1,36%
CAÍDA DE PERSONAS A DISTINTO NIVEL	7	0,95%
CAÍDA DE PERSONAS AL MISMO NIVEL	65	8,87%
CAUSADOS POR SERES VIVOS	8	1,09%
CAUSAS NATURALES (INFARTO, EMBOLIA, .)	1	0,14%
CONTACTOS CON SUSTANCIAS CÁUSTICAS Y/O CORROSIVAS	28	3,82%
CONTACTOS ELÉCTRICOS	2	0,27%
CONTACTOS TÉRMICOS	20	2,73%
CORTES CON OBJETOS	59	8,05%
GOLPES POR OBJETOS O HERRAMIENTAS	140	19,10%
GOLPES Y CONTACTOS CON ELEMENTOS MÓVILES DE MÁQUINAS	13	1,77%
PISADAS SOBRE OBJETOS	24	3,27%
PROYECCIÓN DE FRAGMENTOS O PARTÍCULAS	31	4,23%
SOBRESFUERZOS	88	12,01%
OTROS	179	24,42%

Sobre la tabla 5 podemos comentar que los “causados por seres vivos” han sido todos en verano, la mayoría son picaduras de insectos, se ha trabajado bastante para evitar estos accidentes (aunque no es la causa más abundante), obligando a mantener las puertas cerradas e instalando fluorescentes mata-insectos.

En cuanto a los “sobreesfuerzos” y “golges por objetos o herramientas”, que juntos componen un tercio del total de los accidentes, también se trabaja proporcionando a los trabajadores “robots” manipuladores de objetos pesados, formandoles acerca de cómo se debe levantar una carga para no dañar la espalda, acolchando las zonas donde se conoce, que los trabajadores más se golpean.

Para combatir los accidentes de “cortes con objetos”, se insiste en la obligatoriedad del uso de Equipos de Protección Individual (EPIs), en este caso guantes, para cualquier intervención de los trabajadores, proporcionando para ello, estos EPIs, a todos los trabajadores.

Hay casi un 25% de los accidentes que no tiene definida su causa, los pertenecientes a la causa “OTROS”. Debería disminuirse esta cifra, para poder trabajar más eficientemente en la localización de las causas de los accidentes.

IV.6. Agentes causantes

Si dividimos los accidentes, diferenciado entre tipos de agentes materiales causantes del accidente, tenemos 16 posibilidades distintas en el fichero de accidentes:

Tabla 6: Distribución de los accidentes por agentes causantes

Agente material	Nº accidentes	Porcentaje
Dispositivos y equipos de protección	4	0,55%
Edificios, elementos constructivos, superficies transito a distinto nivel	8	1,10%
Edificios, elementos constructivos, superficies transito al mismo nivel	60	8,23%
Edificios, elementos constructivos, superficies transito por debajo del nivel del suelo	3	0,41%
Elementos de distribución de materia y/o materiales	63	8,64%
Elementos de traslado, transporte y almacenamiento	49	6,72%
Equipos de oficina y personales	4	0,55%
Herramientas manuales	37	5,08%
Máquinas y equipos fijos	41	5,62%
Máquinas y equipos portátiles	4	0,55%
Materiales, objetos, productos, elementos constructivos de la máquina	210	28,81%
Motores, dispositivos de transmisión y almacenamiento energía	25	3,43%
Suelo y paredes de la ducha	1	0,14%
Sustancias químicas	25	3,43%
Vehículos	34	4,66%
Ningún agente material o sin información	161	22,09%

De la Tabla 6 se pueden sacar pocas conclusiones utilizando la estadística, se tendría que hacer un estudio más a fondo y ver que material exactamente, ha intervenido en cada accidente, para poder poner soluciones y de este modo evitar posibles accidentes futuros.

IV.7. Envasado

Vamos de momento a centrarnos exclusivamente en la sección de “Envasado”, ya que es la sección que más incidencias tiene en el fichero que se nos fue entregado por parte del servicio de prevención de la empresa, gracias también a ser la sección más poblada.

Podemos ver en esta sección, la evolución a lo largo de estos 3 años (36 meses) de los accidentes, reagrupando las categorías en tres grupos diferentes, “Auxiliar 2ª”, “Auxiliar 1ª” y “Oficiales y Jefes”, a esta última pertenecen los trabajadores más veteranos. En este caso, a diferencia de lo que hemos visto hasta ahora, no tendremos en cuenta los trabajadores que hay de baja o de vacaciones, solo los que realmente están en la fábrica.

En el eje Y, representaremos para cada grupo categórico, el número de accidentes que se han producido en ese mes, por cada 100 trabajadores de esa categoría que estaban en la fábrica en ese mismo mes.

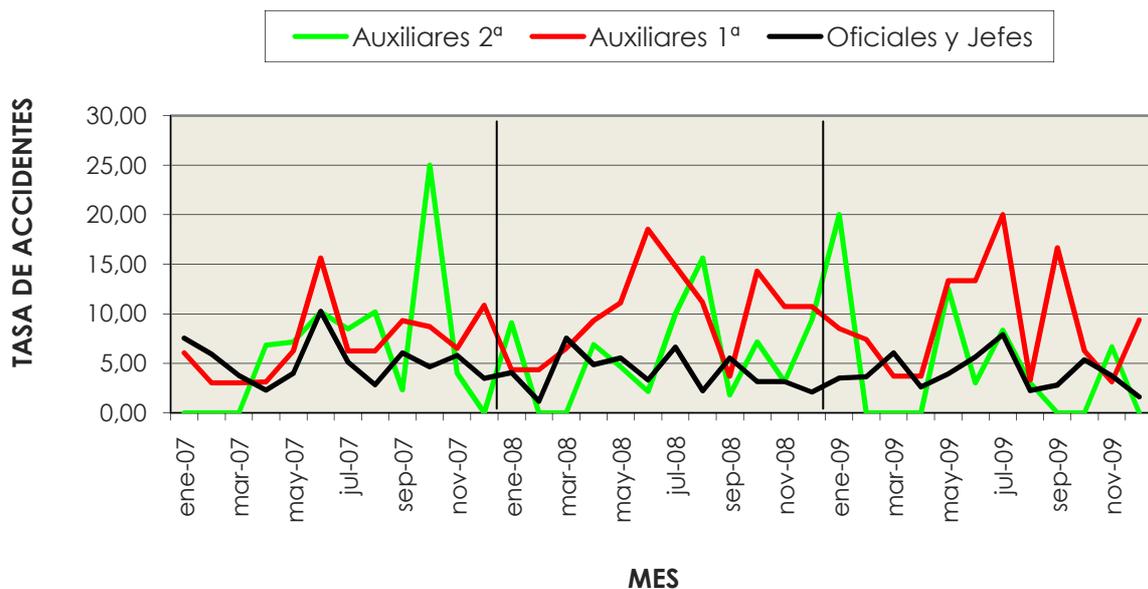


Figura 7: Evolución temporal de accidentes en envasado

Tasa media “Auxiliar 2ª”:6,63
 Tasa media “Auxiliar 1ª”:8,26
 Tasa media “Oficiales y Jefes”:4,43

En la gráfica anterior podemos ver que los trabajadores fijos, es decir “Auxiliares 1^a” y “Oficiales y Jefes”, tienen un repunte de accidentes en los meses de Junio y/o Julio en los 3 años. Y los trabajadores eventuales (“Auxiliares 2^a”), tienen una línea más irregular, hay que tener en cuenta también que no son siempre los mismos trabajadores, ni siquiera el mismo número, incluso algunos meses no hay trabajadores eventuales en la fábrica.

Se puede apreciar también, que los más novatos (“Auxiliares 1^a” y “Auxiliares 2^a”), son claramente los que tienen un porcentaje más alto de accidentes. Sorprendentemente los auxiliares fijos tienen una tasa de accidentes más alta que los temporeros, en realidad el perfil de los trabajadores de ambas categorías es similar, los 2 son jóvenes y bastante novatos, con la diferencia de que quizás los fijos adquieran más responsabilidad.

Si nos fijamos en la línea negra, correspondiente a los accidentes de la plantilla fija veterana (el grupo que cuenta con más número de trabajadores), se puede apreciar un descenso de accidentes a medida que va pasando el tiempo, síntoma de que se está trabajando bien en medidas de seguridad y prevención de riesgos laborales.

IV. MODELO ESTÁTICO

I. TIPO DE DATOS

Se han recogido datos de los accidentes laborales sucedidos a lo largo de 3 años (2007-2009). Para cada accidente se ha registrado el momento (mes) en el que ocurrió, el tipo de accidente y la categoría laboral del trabajador que lo sufrió.

Es de esperar que, el número total de accidentes para cada trabajador de una categoría específica, en un espacio de tiempo t , siga una distribución de *Poisson* de media λt , donde el parámetro $\lambda > 0$ (la tasa) dependerá de la categoría del trabajador, la variable aleatoria $X \equiv$ "número de accidentes" sigue una distribución $X \sim P(\lambda t)$, con lo que la probabilidad de que sufra un número $k \geq 0$ de accidentes (en el espacio de tiempo t) es

$$P(X = k) = e^{-\lambda t} \frac{(\lambda t)^k}{k!}$$

La *media* de la distribución de *Poisson* anterior es λt y su *varianza* es también λt . Habría que estimar el parámetro λ .

Además, el número de accidentes que sufrirá en intervalos de tiempos disjuntos es de esperar que sea independiente. La distribución de *Poisson* satisface la propiedad de que la suma de dos variables aleatorias independientes, sigue también distribución *Poisson* y su parámetro es la suma de los parámetros. Si $X \sim P(\lambda_1)$ e $Y \sim P(\lambda_2)$, entonces $X + Y \sim P(\lambda_1 + \lambda_2)$.

En este capítulo sobre el *modelo estático*, supondremos que la tasa de accidentes es constante en cada categoría profesional a lo largo de los tres años del estudio. La estimación de la tasa de accidentes que es el parámetro λ , se efectuará a partir del número medio de accidentes y lo denotamos por $\hat{\lambda}$. Es fundamental averiguar cuántas tasas de accidentes distintas hay para las diferentes categorías profesionales.

Tabla 7: Tasas de accidentes por categorías

	Media trabajadores	Nº de accidentes (en los 3 años)	Tasa de accidentes por trabajador y mes (en porcentaje) ($\hat{\lambda}$)
Auxiliares 2ª	28,06	67	$\hat{\lambda}_1 = 6,63\%$
Auxiliares 1ª	35,97	107	$\hat{\lambda}_3 = 8,26\%$
Oficiales y Jefes	177,53	283	$\hat{\lambda}_2 = 4,43\%$
Fijos	213,50	390	5,07%
Total	241,56	457	5,26%

II. DISTRIBUCIÓN DE DATOS

Podemos considerar constante el número de trabajadores Fijos (Auxiliares 1ª + Oficiales y Jefes) en envasado durante estos 3 años. Vamos a comprobar que el número de accidentes por mes de los trabajadores fijos sigue distribución de *Poisson*.

II.1. Test de la bondad de ajuste

El objetivo de estos contrastes es comprobar si una muestra procede de una población con una determinada distribución de probabilidad. Nosotros en este caso deseamos comprobar que unos datos proceden de una distribución de *Poisson*.

Test ji-cuadrado (χ^2)

Disponemos de una muestra, cuyas observaciones se clasifican en c categorías mutuamente excluyentes. Estas categorías harán referencia a conjuntos de números naturales que reflejarán el número de accidentes ocurridos en un mes.

El test χ^2 permite contrastar

$$\begin{aligned} H_0 : F(x) &= F_0(x) \\ H_1 : F(x) &\text{ no es una distribución } F_0(x) \end{aligned}$$

Estadístico de contraste

$$\chi^2_{\text{obs}} = \sum_{i=1}^c \frac{(f.o.i - f.e.i)^2}{f.e.i} \sim \chi^2_{c-p-1}$$

Donde $f.e.i$ = frecuencia esperada i -ésima = np_i , con p_i la probabilidad de pertenencia a la categoría i -ésima, $f.o.i$ = frecuencia observada i -ésima, c es el número de intervalos o categorías de la variable y p el número de parámetros estimados para ajustar la distribución poblacional según la hipótesis nula, $F_0(x)$. En este caso, la distribución que nos ocupa es la de *Poisson*, que tiene un parámetro (la tasa de accidentes, estimado a partir de la tasa muestral de accidentes), así el estadístico se aproxima a χ^2_{c-p-1} . No es recomendable utilizar este test cuando $np_i < 5$ ó $n(1 - p_i) < 5$ para algún i . El valor crítico k se determina de modo que se verifique

$$P(\chi^2_{c-p-1} \geq k \mid H_0) = \alpha$$

Trabajadores Fijos: Se han recogido datos sobre el número de accidentes (por mes) de los trabajadores Fijos (aproximadamente hay los mismos trabajadores Fijos durante los 3 años del estudio) de envasado. En la siguiente tabla representamos, el número de meses que tienen en común, el mismo número de accidentes ocurridos en ese mes.

Nº de accidentes	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	>16
Nº de meses	1	2	2	3	2	3	4	5	5	2	2	0	3	2

Lo juntamos en grupos, debido a que no es recomendable utilizar este test cuando $np_i < 5$, quedándonos la tabla

Nº de accidentes	≤ 7	8 y 9	10 y 11	12 y 13	14 y 15	≥ 16
Nº de meses	8	5	9	7	2	5

La pregunta que nos formulamos es si podemos aceptar la hipótesis de que una variable, número de accidentes por mes (Figura 9), sigue una distribución de *Poisson* con parámetro $\lambda = 10,83$ (que procede de dividir los 390 accidentes entre los 36 meses del estudio) (Figura 8). Fijamos un nivel de significación $\alpha = 0,05$.

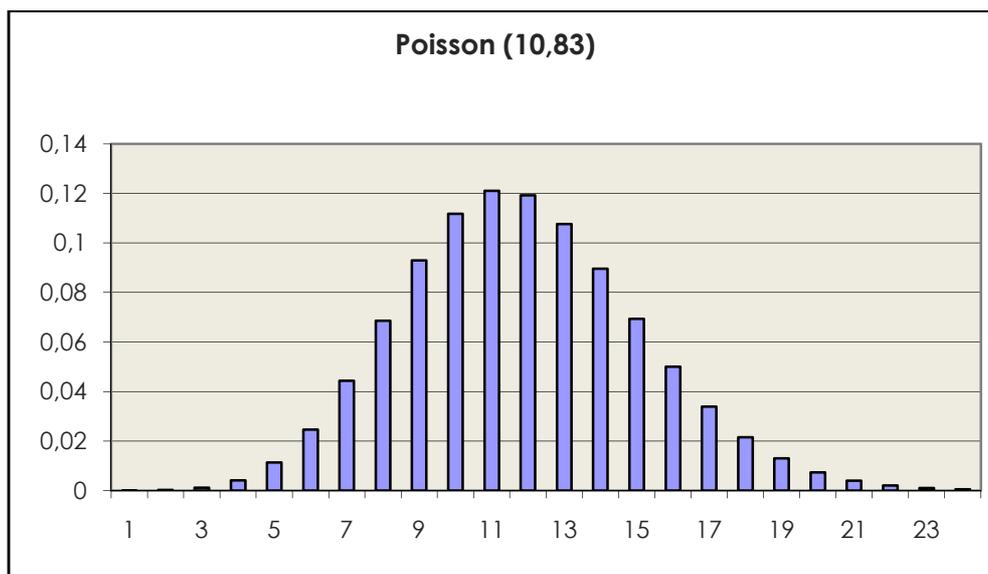


Figura 8: Poisson de media 10,83

Se puede apreciar cierta similitud entre la distribución de *Poisson* de la gráfica de la Figura 8 y la distribución de la gráfica de la Figura 9, que en realidad es lo que estamos intentando demostrar.

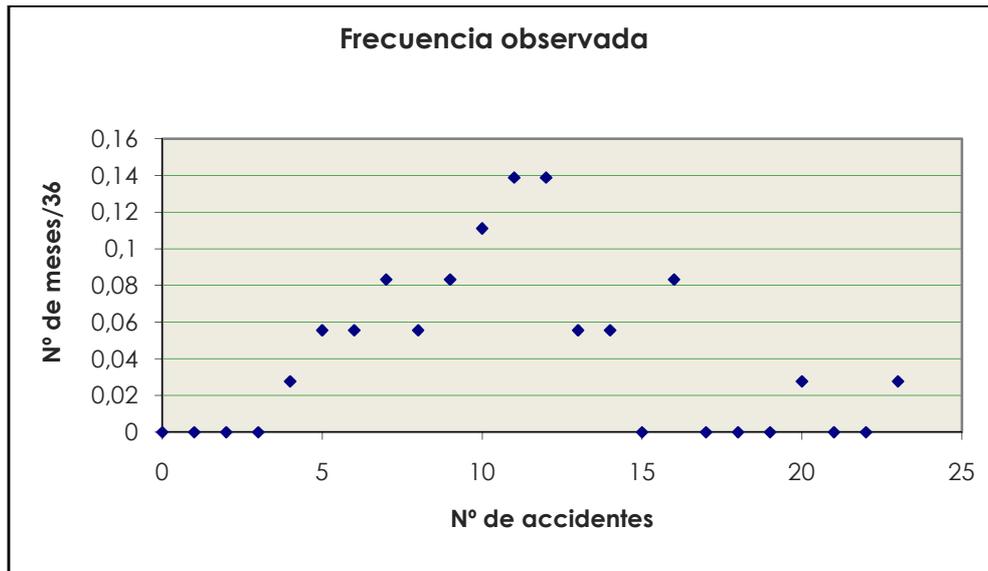


Figura 9: Frecuencia observada del número de accidentes en un mes

H_0 : La muestra procede de una población de *Poisson* $P(10,83)$

H_1 : La muestra no procede de una población de *Poisson* $P(10,83)$

Calculemos ahora las probabilidades p_i de pertenencia a cada categoría

$$p_1 = P(X \leq 7 | \lambda = 10,83) = 0,1545$$

$$p_2 = P(8 \leq X \leq 9 | \lambda = 10,83) = 0,2047$$

$$p_3 = P(10 \leq X \leq 11 | \lambda = 10,83) = 0,2403$$

$$p_4 = P(12 \leq X \leq 13 | \lambda = 10,83) = 0,1972$$

$$p_5 = P(14 \leq X \leq 15 | \lambda = 10,83) = 0,1194$$

y $p_6 = P(16 \leq X | \lambda = 10,83) = 0,0838$

Una vez determinadas las probabilidades es muy sencillo calcular las *frecuencias esperadas*

$$f.e.i = np_i$$

Los valores obtenidos son

$$f.e.1 = 36 \times 0,1545 = 5,56, \quad f.e.2 = 36 \times 0,2047 = 7,37, \quad f.e.3 = 8,65, \quad f.e.4 = 7,10, \quad f.e.5 = 4,30, \quad f.e.6 = 3,02.$$

Recordemos que este test no se debe utilizar cuando las *frecuencias esperadas* np_i o los valores $n(1 - p_i)$ son menores que 5. Como $f.e.5$ y $f.e.6$ lo son, acumulamos los dos últimos datos en un único dato, luego la *frecuencia* será la suma de las *frecuencias*, tanto para las *esperadas* ($4,30 + 3,02 = 7,32$) como para las *observadas* ($2 + 5 = 7$).

El valor observado del estadístico de contraste es

$$\chi^2_{\text{obs}} = (8 - 5,56)^2 / 5,56 + (5 - 7,37)^2 / 7,37 + (9 - 8,65)^2 / 8,65 + (7 - 7,1)^2 / 7,1 + (7 - 7,32)^2 / 7,32 = 1,0708 + 0,7621 + 0,0142 + 0,0014 + 0,0140 = \mathbf{1,86}$$

Como $\chi^2_{c-p-1; 1-\alpha} = \chi^2_{5-1-1; 0,95} = \chi^2_{3; 0,95} = 7,81 > 1,86 = \chi^2_{\text{obs}}$, aceptamos la hipótesis de que la distribución subyacente es de *Poisson*.

Alternativamente podemos calcular el *p-valor* = $P(\chi^2_3 \geq 1,86) = 0,60$ y al ser éste mayor que 0,05, aceptamos H_0 .

En los grados de libertad de la ji-cuadrado aparecen los valores: $c = 5$ clases, ya que hemos agrupado los accidentes de 14 en adelante, juntando las dos últimas clases de la partición original y $p = 1$ parámetro estimado, ya que la distribución de *Poisson* viene determinada por un único parámetro.

Para calcular el *percentil* y el *p-valor* en Excel utilizamos las funciones:

$$\begin{aligned} \text{Prueba Chi Inv } (0,05;3) &= 7,81 \\ \text{Distribucion Chi } (1,86;3) &= 0,60 \end{aligned}$$

III. IDENTIFICACIÓN DE TASAS

Partimos de la suposición de que la tasa de accidentes, se mantiene constante a lo largo de los 3 años del estudio en cada categoría profesional. El número total de accidentes, que han sufrido los trabajadores de una cierta categoría, en un espacio fijo de tiempo, seguirá distribución de *Poisson* de parámetro $\lambda \times n$, donde n es el número de trabajadores de dicha categoría.

Una variable aleatoria, de *Poisson* y parámetro grande (≥ 5), sigue una distribución que se aproxima por una *Normal* de media dicho parámetro y *desviación típica*, su raíz cuadrada. Así, si tenemos dos categorías laborales distintas y reflejamos el número total de accidentes en cada una de ellas como X e Y , entonces $X \sim P(\lambda_1 \times n)$ aprox. $N(\lambda_1 \times n, \sqrt{\lambda_1 \times n})$ e $Y \sim P(\lambda_2 \times m)$ aprox. $N(\lambda_2 \times m, \sqrt{\lambda_2 \times m})$, donde λ_1 y λ_2 son las respectivas tasas de accidentes (en los 3 años) y n, m son los números de trabajadores que hay en cada una de las categorías. Denotamos como $N(\mu, \sigma)$ a una distribución *Normal* de media μ y *desviación típica* σ .

Nos preguntamos si la tasa de accidentes en dos categorías distintas es la misma mediante el contraste con hipótesis nula $H_0 : \lambda_1 = \lambda_2$ e hipótesis alternativa $H_1 : \lambda_1 \neq \lambda_2$. Supuesta cierta la hipótesis nula (que las tasas son la misma), tenemos que $X/n - Y/m \sim N(0, \sqrt{\lambda(1/n + 1/m)})$, donde λ es la tasa global de accidentes (en los 3 años).

Por lo tanto debemos comparar la diferencia de las tasas tipificada con un *cuantil* de la distribución *Normal*.

$$\frac{\hat{\lambda}_1 - \hat{\lambda}_2}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}}$$

El valor $\hat{\lambda}_0$ es la estimación de la tasa global (juntando las dos categorías profesionales) de accidentes.

Si el cociente anterior tiene un valor muy grande o muy pequeño, entonces debemos rechazar que las tasas sean iguales. Alternativamente, podríamos querer comprobar si la tasa en una categoría laboral es mayor que en otra, entonces el contraste sería $H_0 : \lambda_1 = \lambda_2$ frente $H_1 : \lambda_1 > \lambda_2$ y sólo nos interesaría comprobar si el valor del cociente es grande (de nuevo en comparación con un *cuantil* de la *Normal*).

III.1. "Auxiliares 2ª" frente a "Oficiales y Jefes"

Vamos a comparar las tasas de las categorías "Auxiliares 2ª" y "Oficiales y Jefes" para comprobar si son iguales con un nivel de significación 0,05, en caso de no serlo, daremos un nivel de significación máximo que nos permitiría afirmar que lo son.

$$\begin{array}{ll} \text{Auxiliares 2ª} & X \sim P(\lambda_1 \times n) = P(6,63 \times 28,06) = P(186,04) \\ \text{Oficiales y Jefes} & Y \sim P(\lambda_2 \times m) = P(4,43 \times 177,53) = P(786,46) \end{array}$$

$$\text{aprox } N(\lambda_1 \times n, \sqrt{\lambda_1 \times n}) = N(6,63 \times 28,06, \sqrt{6,63 \times 28,06}) = N(186,04, 13,64)$$

$$\text{aprox } N(\lambda_2 \times m, \sqrt{\lambda_2 \times m}) = N(4,43 \times 177,53, \sqrt{4,43 \times 177,53}) = N(786,46, 28,04)$$

Comprobaremos si la tasa de accidentes en las dos categorías es la misma

$$\left. \begin{array}{l} H_0 : \lambda_1 = \lambda_2 \\ H_1 : \lambda_1 \neq \lambda_2 \end{array} \right\} \text{ Aceptaremos } H_0 \text{ salvo evidencia fuerte en su contra, es decir } \hat{\lambda}_1 \text{ muy distinto de } \hat{\lambda}_2.$$

$$X/n - Y/m \sim N(0, \sqrt{\lambda(1/n + 1/m)}) \quad \lambda \longrightarrow \text{tasa global de accidentes}$$

$$\frac{X/n - Y/m}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}} \sim N(0,1)$$

Supuesta cierta H_0 , tenemos que λ es tasa única (igual para la primera y la segunda población), para estimarla calculamos:

$$\hat{\lambda}_0 \longrightarrow \text{estimación de la tasa global de accidentes en las 2 poblaciones}$$

Partimos de un nivel de significación $\alpha = 0,05$, que es la probabilidad de error (rechazar H_0 equivocadamente cuando es cierta) que estamos dispuestos a asumir.

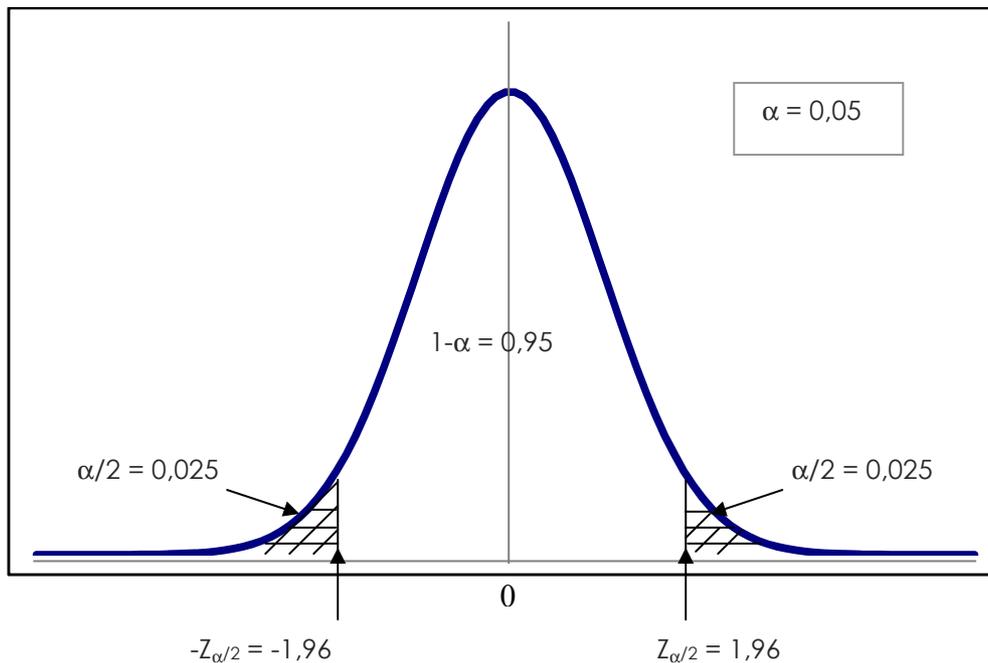


Figura 10: Función de densidad Normal $\alpha = 0,05$, sección rayada $H_1 : \lambda_1 \neq \lambda_2$

$$\text{Si } \left| \frac{\hat{\lambda}_1 - \hat{\lambda}_2}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}} \right| > 1,96, \text{ entonces rechazamos } H_0.$$

Como el número de accidentes es a lo largo de los 3 años (36 meses) y la *media* de trabajadores es al mes, expresamos n , m como:

$$\begin{aligned} n &= 36 \times 28,06 = 1010 \\ m &= 36 \times 177,53 = 6391 \end{aligned}$$

Es decir n y m representan el número de *jornadas mensuales* completadas por los trabajadores de las distintas categorías. Por *jornada mensual* entendemos el número de meses que han completado en la fábrica los trabajadores de la empresa.

$$\hat{\lambda}_0 = (X+Y)/(n+m) = (67+283)/(1010 + 6391) = 4,73\%$$

Si el cociente tiene un valor muy grande o muy pequeño (en valor negativo), entonces debemos rechazar que las tasas sean iguales

$$\frac{\hat{\lambda}_1 - \hat{\lambda}_2}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}} = \frac{X/n - Y/m}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}} = \frac{67/1010 - 283/6391}{\sqrt{0,0473 (1/1010 + 1/6391)}} =$$

$$= \frac{0,0663 - 0,0443}{\sqrt{0,0473 (0,00099 + 0,000156)}} = \frac{0,022}{0,00736} = \mathbf{2,98} > 1,96$$

El *p*-valor de este contraste es la probabilidad de que, supuesto que los datos proceden de muestras aleatorias, obtener tasas muestrales de accidentes al menos tan distintas como las que hemos obtenido. De un modo más preciso, es el mayor nivel de significación para el que no se rechaza H_0 .

$$p\text{-valor} = 2P(Z > 2,98) = 2 \times 0,00144 = 0,0029$$

Supuesta cierta la hipótesis nula, H_0 , el cociente que hemos calculado debería seguir una distribución *Normal* estándar $N(0,1)$. No obstante, la probabilidad de que una variable aleatoria con distribución $N(0,1)$ alcance un valor tan grande como 2,98 o superior es aproximadamente 0,14%. Por lo tanto podemos descartar H_0 y afirmar que las tasas de accidentes son distintas (con cualquier nivel de significación $> 0,0029$).

Si hubiéramos querido comprobar si la tasa de accidentes en los Auxiliares 2ª es mayor que en los Oficiales y Jefes, hubiéramos planteado el contraste

$$H_0 : \lambda_1 = \lambda_2$$

$$H_1 : \lambda_1 > \lambda_2$$

Volvemos a tomar el nivel de significación $\alpha = 0,05$ y rechazamos H_0 si $\hat{\lambda}_1$ es mucho mayor que $\hat{\lambda}_2$.

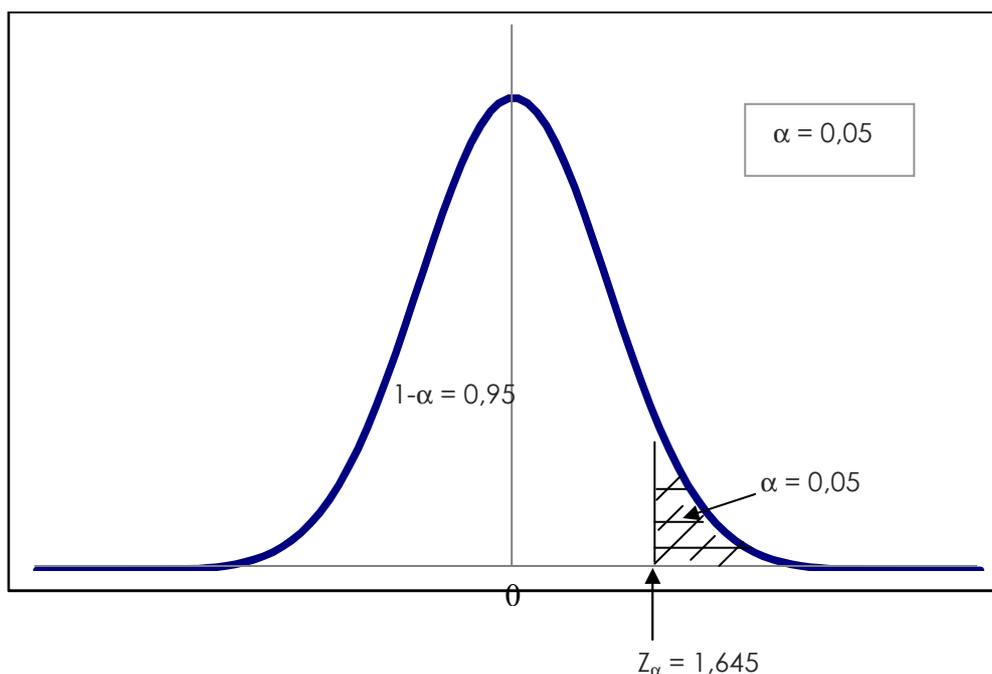


Figura 11: Función de densidad Normal $\alpha = 0,05$, sección rayada $H_1 : \lambda_1 > \lambda_2$

Solo nos interesa comprobar si el valor del cociente es grande ($> 1,645$), que efectivamente lo es, ya que la probabilidad de haber obtenido un valor mayor que él, supuesta cierta la hipótesis nula es despreciable. Podemos afirmar (con nivel de significación 0,05) que la tasa de accidentes entre los "Auxiliares 2ª" es mayor que entre los "Oficiales y Jefes". El p-valor de este contraste será:

$$p\text{-valor} = P(Z > 2,98) = 0,0014$$

III.2. "Auxiliares 1ª" frente a "Oficiales y Jefes"

Vamos a repetir el mismo proceso que en el apartado anterior pero esta vez comparando las tasas de las categorías "Auxiliares 1ª" y "Oficiales y Jefes"

$$H_0 : \lambda_3 = \lambda_2 ; H_1 : \lambda_3 \neq \lambda_2$$

$$\text{Auxiliares 1ª} \quad X \sim P(8,26 \times 35,97) = P(297,11)$$

$$\text{Oficiales y Jefes} \quad Y \sim P(4,43 \times 177,53) = P(786,46)$$

$$\text{aprox } N(8,26 \times 35,97, \sqrt{8,26 \times 35,97}) = N(297,11, 17,24)$$

$$\text{aprox } N(4,43 \times 177,53, \sqrt{4,43 \times 177,53}) = N(786,46, 28,04)$$

$$n = 36 \times 35,97 = 1295$$

$$m = 36 \times 177,53 = 6391$$

$$\hat{\lambda}_0 = (X+Y)/(n+m) = (107+283)/(1295 + 6391) = 5,07\%$$

$$\begin{aligned} \frac{\hat{\lambda}_1 - \hat{\lambda}_2}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}} &= \frac{X/n - Y/m}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}} = \frac{107/1295 - 283/6391}{\sqrt{0,0507 (1/1295 + 1/6391)}} = \\ &= \frac{0,0826 - 0,0443}{\sqrt{0,0507 (0,00077 + 0,000156)}} = \frac{0,0383}{0,00685} = \mathbf{5,59} > 1,96 \end{aligned}$$

$$p\text{-valor} = 2P(Z > 5,59) = 2,27 \times 10^{-8}$$

Ahora la probabilidad de que una variable aleatoria con distribución $N(0,1)$ alcance un valor tan grande como 5,59 o superior es prácticamente nula. Volvemos a rechazar H_0 y afirmar que las tasas de accidentes son distintas (casi con cualquier nivel de significación).

Si hubiéramos planteado el contraste

$$H_0 : \lambda_3 = \lambda_2 ; H_1 : \lambda_3 > \lambda_2$$

Para comprobar si $\lambda_3 > \lambda_2$, comprobamos si el valor del cociente (5,59) es grande ($>1,645$), vemos que es muy superior (mucho más grande que el caso de los "Auxiliares 2^o"). Podemos afirmar que la tasa de accidentes entre los "Auxiliares 1^o", es con casi toda seguridad mayor que entre los "Oficiales y Jefes".

III.3. "Auxiliares 1^o" frente a "Auxiliares 2^o"

En este apartado las tasas que vamos a comparar son la de los auxiliares fijos ("Auxiliares 1^o") frente a auxiliares eventuales ("Auxiliares 2^o")

$$H_0 : \lambda_3 = \lambda_1 ; H_1 : \lambda_3 \neq \lambda_1$$

$$\text{Auxiliares 1}^{\text{a}} \quad X \sim P(8,26 \times 35,97) = P(297,11)$$

$$\text{Auxiliares 2}^{\text{a}} \quad Y \sim P(6,63 \times 28,06) = P(186,04)$$

$$\text{aprox } N(8,26 \times 35,97, \sqrt{8,26 \times 35,97}) = N(297,11, 17,24)$$

$$\text{aprox } N(6,63 \times 28,06, \sqrt{6,63 \times 28,06}) = N(186,04, 13,64)$$

$$n = 36 \times 35,97 = 1295$$

$$m = 36 \times 28,06 = 1010$$

$$\hat{\lambda}_0 = (X+Y)/(n+m) = (107+67)/(1294,92 + 1010,16) = 7,55\%$$

$$\begin{aligned} \frac{\hat{\lambda}_1 - \hat{\lambda}_2}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}} &= \frac{X/n - Y/m}{\sqrt{\hat{\lambda}_0 (1/n + 1/m)}} = \frac{107/1294,92 - 67/1010,16}{\sqrt{0,0755 (1/1294,92 + 1/1010,16)}} = \\ &= \frac{0,0826 - 0,0663}{\sqrt{0,0755 (0,00077 + 0,00099)}} = \frac{0,0163}{0,0115} = \mathbf{1,42} < 1,96 \end{aligned}$$

$$p\text{-valor} = 2P(Z > 1,42) = 0,1556$$

En este caso la probabilidad de que una variable aleatoria con distribución $N(0,1)$ alcance un valor tan grande como 1,42 o superior es aproximadamente 7,78% (mayor que $\alpha/2$ (2,5%)), es decir que pertenece a la sección $1-\alpha$. Por lo tanto no podemos descartar H_0 y afirmar que las tasas de accidentes son distintas (con nivel de significación 0,05). Para afirmarlo tendríamos que partir de un nivel de significación superior a 0,1556, con lo que incurriríamos en una probabilidad de error muy grande.

Como no podemos descartar H_0 , concluimos con que son iguales ambas tasas y que las dos categorías suelen tener la misma cantidad de accidentes.

En este caso el contraste unilateral que tendría sentido es $H_0 : \lambda_3 = \lambda_1 ; H_1 : \lambda_3 < \lambda_1$ ya que los Auxiliares 1ª (λ_3) son fijos, mientras que los Auxiliares 2ª (λ_1) son eventuales. En este caso es inmediato que no podemos rechazar H_0 ya que $\hat{\lambda}_3 > \hat{\lambda}_1$.

III.4. Conclusiones

Si comparamos a los trabajadores según su categoría, podemos afirmar con el mismo nivel de significación ($\alpha = 0,05$), que los "Oficiales y Jefes" tienen una tasa de accidentes más baja que los "Auxiliares 2ª" y también que los "Auxiliares 1ª". Si comparásemos los "Oficiales y Jefes" con los auxiliares en general sería el mismo resultado, ya que tienen una tasa más alta que los "Auxiliares 2ª".

Si comparamos los "Auxiliares 1ª" frente a los "Auxiliares 2ª" no podemos concluir que sean diferentes, ni si quiera que uno sea mayor que el otro, entonces diremos que ambas tasas son iguales.

Resumiendo los contrastes en una tabla, hemos obtenido los siguientes *p-valores*

Tabla 8: P-valores de los diferentes contrastes

Contraste (bilateral) $H_0 : \lambda_1 = \lambda_2 ; H_1 : \lambda_1 \neq \lambda_2$	p-valor
Auxiliares 2ª frente a Oficiales y Jefes	0,0014
Auxiliares 1ª frente a Oficiales y Jefes	$2,27 \times 10^{-8}$
Auxiliares 1ª frente a Auxiliares 2ª	0,1556

Como hemos utilizado los mismos datos para realizar varios contrastes, según la corrección de *Bonferroni*, para garantizar un nivel global de $\alpha = 0,05$, debemos realizar cada contraste individual con un nivel de significación α/n , donde n es el número de contrastes. A la vista de los *p-valores* que tenemos, esta corrección no altera nuestra conclusión y tenemos dos tasas de accidentes, una para Auxiliares (7,55%) y otra para Oficiales y Jefes (4,43%). Deja de tener por tanto sentido, el agrupar los trabajadores en Fijos y Temporeros si lo que queremos es estudiar su tasa de accidentes.

IV. PREDICCIÓN

IV.1. Número de accidentes en un intervalo de tiempo

Número de accidentes en un año

En la categoría de “Oficiales y Jefes” en envasado, que tiene un número de trabajadores más constante que las otras categorías, podemos estudiar el número de accidentes que se producirán a lo largo del siguiente año (número de trabajadores x tasa anual de accidentes). Daremos además un intervalo de predicción, que contendrá el número exacto de accidentes con probabilidad 0,95.

$$\text{tasa de accidentes} \times \text{meses} \times \text{n}^\circ \text{ de empleados} = 0,0443 \times 12 \times 177,53 = 94,375$$

Se espera que el próximo año se produzcan alrededor de 94 accidentes entre los trabajadores pertenecientes a la categoría “Oficiales y Jefes”. Para hallar el intervalo con probabilidad 0,95, lo aproximamos a una *Normal* de media 94,375 y desviación típica su raíz cuadrada o a una *Poisson* de media 94,375.

$$X \sim N(94,375, \sqrt{94,375})$$

$$X \sim P(94,375)$$

$$P(x \leq X \leq y) = 0,95$$

Se calculan los límites con Excel tanto para la *Normal* como para *Poisson* de tal manera que $\alpha/2 = 0,025$ y da:

$$\begin{aligned} \text{Normal:} \quad & =\text{DISTR.NORM}(\mathbf{x};94,375;9,715;\text{VERDADERO}) = 0,025 \rightarrow x = 75,33 \\ & =\text{DISTR.NORM}(\mathbf{y};94,375;9,715;\text{VERDADERO}) = 0,975 \rightarrow y = 113,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & =\text{DISTR.NORM}(\mathbf{75};94,375;9,715;\text{VERDADERO}) = 0,023 \text{ luego } x = 75 \\ & =\text{DISTR.NORM}(\mathbf{114};94,375;9,715;\text{VERDADERO}) = 0,978 \text{ luego } y = 114 \end{aligned}$$

$$P(75 < X \leq 114) = 0,955 \quad (95,5\%)$$

$$\begin{aligned} \text{Poisson:} \quad & =\text{POISSON}(\mathbf{75};94;\text{VERDADERO}) = 0,023 & \text{luego } x = 75 \\ & =\text{POISSON}(\mathbf{114};94;\text{VERDADERO}) = 0,978 & \text{luego } y = 114 \end{aligned}$$

$$P(75 < X \leq 114) = P(76 \leq X \leq 114) = 0,955 \quad (95,5\%)$$

Hay una probabilidad del 95,5% de que el número de accidentes producidos en un año se situó dentro del intervalo **[76,114]**. Si el número de accidentes a lo largo del siguiente año cae fuera de ese intervalo, habrá que plantearse la posibilidad de que la tasa haya variado.

Número de accidentes en un mes

Hacemos ahora lo mismo para el número de accidentes mensual.

Tasa de accidentes x meses x nº de empleados = $0,0443 \times 177,53 = 7,86$

Lo aproximamos a una *Normal de media 7,86 y desviación típica su raíz cuadrada* o a una *Poisson de media 7,86*.

Normal: =DISTR.NORM(**x**;7,86;2,8;VERDADERO) = 0,025 → x = 2,37

=DISTR.NORM(**y**;7,86;2,8;VERDADERO) = 0,975 → y = 13,55

=DISTR.NORM(**2**;7,86;2,8;VERDADERO) = 0,018 entonces x = 2

=DISTR.NORM(**14**;7,86;2,8;VERDADERO) = 0,986 entonces y = 14

$P(2 < X \leq 14) = 0,968$ (96,8%)

Poisson: =POISSON(**2**;7,86;VERDADERO) = 0,015 entonces x = 2

=POISSON(**14**;7,86;VERDADERO) = 0,985 entonces y = 14

$P(2 < X \leq 14) = P(3 \leq X \leq 14) = 0,97$ (97%)

Hay una probabilidad de un 97% de que el número de accidentes producidos en un mes se situó dentro del intervalo **[3,14]**.

IV.2. Tiempo mínimo esperado entre 2 accidentes

Si el número de accidentes sigue distribución de *Poisson* con tasa λ , el tiempo entre dos accidentes seguirá distribución Exponencial de *media* $1/\lambda$. Dentro de la categoría de los "Oficiales y Jefes" daremos el tiempo esperado entre accidentes dentro de la sección de envasado y para cada trabajador específico. Además, daremos una cota de tal modo que el tiempo entre dos accidentes sea mayor que ella con probabilidad 0,95%.

En un año (235 días laborables) se producen 94,375 accidentes en los trabajadores "Oficiales y Jefes", uno cada 2,5 días. Como hay de *media* 177,53 trabajadores, a cada trabajador de dicha categoría le corresponderían 0,53 accidentes anuales, es decir uno cada 2 años.

Tiempo mínimo esperado entre accidentes del mismo trabajador

$X \equiv$ "número de accidentes en un año"

$X \sim P(0,53)$ 0,53 \longrightarrow n° medio de accidentes de un trabajador en un año

$Y \equiv$ "tiempo entre 2 accidentes consecutivos" (tiempo hasta el primer accidente)

$Y \sim \text{Exp}(0,53)$ tiempo medio entre accidentes $1/0,53$ (fracción de un año)

Alternativamente, el nivel 0,95 que se propone en esta sección para detectar anomalías, lo podríamos cambiar por 0,99 o un nivel incluso superior, 0,999 (en lugar de algo que pasa 5 de cada 100 veces, sería algo que pasa sólo 1 de cada 100 o 1000 veces, lo que resulta realmente anómalo). Este cambio tiene mucho sentido cuando estudiamos un trabajador específico, ya que la empresa tiene muchos trabajadores y sólo queremos dar la señal de alarma cuando hay una anomalía clara.

$P(Y > t) = 0,99$

$P(Y \leq t) = 0,01$ umbral que consideramos razonable para un trabajador específico

$\text{DISTR.EXP}(x;0,53;\text{VERDADERO}) = 0,01 \longrightarrow x = 0,019$

$0,019(\text{fracción de año}) \times 235(\text{días laborables/año}) = 4,465 \text{ días}$

La probabilidad de que un mismo trabajador tenga 2 accidentes en menos de 4,465 días laborables (una semana aproximadamente) es del 1%. Si ocurriese esto, se debería estudiar el caso ya que es muy poco probable. Si quisiésemos tener en cuenta más casos para estudiarlos, es decir que salte la alarma en el 5% de los casos:

$P(Y > t) = 0,95$

$P(Y \leq t) = 0,05$ umbral que consideramos razonable

$\text{DISTR.EXP}(x;0,53;\text{VERDADERO}) = 0,05 \longrightarrow x = 0,097$

$0,097(\text{fracción de año}) \times 235(\text{días laborables/año}) = 22,795 \text{ días}$

En este caso, 2 accidentes sufridos por un mismo trabajador de la categoría "Oficiales y Jefes", separados estos por un tiempo inferior o igual a un mes aproximadamente, es motivo de alarma en la empresa y se debería estudiar el caso o al menos tenerlo presente.

Tiempo mínimo esperado entre accidentes de “Oficiales y Jefes”

Tenemos en cuenta todos los trabajadores de esta categoría, que van a la fábrica en un día laborable, estos trabajadores están repartidos en 3 turnos de 8 horas (7:00-15:00, 15:00-23:00, 23:00-7:00 (de noche hay menos trabajadores)). Si el tiempo mínimo entre 2 accidentes es inferior a una jornada laboral, hay que tenerlo en cuenta, de tal manera que el tiempo que transcurre entre un accidente a las 7:30 (en el turno de mañana) y otro a las 15:35 (en el turno de tarde) es tan solo 5 minutos, y debería saltar la alarma.

$X \equiv$ “nº de accidentes al año”

$X \sim P(94,375)$ 94,475 \longrightarrow nº medio de accidentes en un año

$Y \equiv$ “tiempo entre 2 accidentes” (tiempo hasta el primer accidente)

$Y \sim \text{Exp}(94,375)$ tiempo medio entre accidentes $1/94,375$ (fracción de un año)

$P(Y > t) = 0,95$

$P(Y \leq t) = 0,05$ umbral que consideramos razonable

$\text{DISTR.EXP}(x;94,375;\text{VERDADERO}) = 0,05 \longrightarrow x = 0,000544$

$0,000544(\text{fracción de año}) \times 235(\text{días laborables/año}) \times 8(\text{horas}) = 1,023 \text{ horas}$

El tiempo entre 2 accidentes consecutivos será de 1 hora (o inferior) con probabilidad del 5%. Si se sobrepasase esta cota, es decir se produjesen 2 accidentes en menos de una hora, sería un síntoma de anomalías dentro de la empresa. Carece un poco de sentido alarmarse por 2 accidentes consecutivos y más si estos se produjesen en 2 turnos diferentes.

Si partiésemos del número de accidentes mensuales (7,86) y utilizando un nivel de 0,99, el resultado sería 12 minutos, ese es el tiempo mínimo con probabilidad del 99%, que debe pasar entre 2 accidentes de trabajadores de la categoría “Oficiales y Jefes”. Aunque es muy poco probable que pase, alarmarse porque sucediese esto no tendría mucho sentido, pero se puede tener en cuenta.

V. MODELO DINÁMICO

I. INTRODUCCIÓN

Los datos de los que disponemos (tasas de accidentes para cada mes) constituyen una serie temporal, ya que son valores de determinados momentos del tiempo, ordenados cronológicamente y en nuestro caso además, podemos añadir que están espaciados en el tiempo de manera uniforme.

Las series temporales, además de las características habituales de cualquier otro tipo de dato estadístico, tienen dos características específicas: *tendencia* y *estacionalidad*. La *tendencia* hace referencia a la evolución de la serie a largo plazo (incremento o decremento del que medimos el nivel medio, según la periodicidad de recogida de datos), mientras que la *estacionalidad* consiste en el comportamiento cíclico, de la serie que se repite cada cierto tiempo. En nuestro caso, estudiaremos una *tendencia* (caso de haberla) y esperamos un comportamiento cíclico a lo largo del año. Es decir, estudiaremos si la tasa de accidentes varía a medida que pasa el tiempo, circunstancia que debería repercutir según avanzamos de un mes a otro y, asimismo, estudiaremos la presencia de un patrón, superpuesto a la *tendencia*, que se repita anualmente.

También habrá una variación aleatoria, de carácter errático, habitualmente denominada *residuo* (*perturbación*, *error*), no muestran ninguna regularidad, debidos a fenómenos de carácter ocasional.

Dicho esto, en este capítulo ajustaremos nuestras tasas de accidentes mediante un modelo de **regresión lineal**. Así, podremos predecir la tasa en meses futuros. Para explicar lo que es la regresión lineal, comenzaremos con la regresión lineal simple y luego pasaremos a la regresión múltiple.

Regresión lineal simple: El objetivo es obtener un modelo, que permita establecer una relación entre dos variables que se ajuste lo mejor posible a los datos. De tal modo que podamos predecir la variable y (variable dependiente, respuesta o de interés) a partir del valor que toma la variable x (variable independiente, predictora o explicativa).

Si es posible establecer una relación determinista entre las variables, es decir de la forma $y = f(x)$, entonces la predicción no tendría ningún *error*. Pero en la mayoría de los casos las relaciones entre las variables nos son desconocidas, es decir $y = f(x) + u$, donde u es una *perturbación* desconocida (una variable aleatoria). La presencia de ese *error* aleatorio significa que dos observaciones idénticas para x pueden dar lugar a observaciones distintas para y .

En los modelos en los que la función $f(x)$ es lineal $y = \beta_0 + \beta_1 x + u$, la variable y varía linealmente con la variable x , pero no queda totalmente explicada por ella a causa de la presencia del *error* u . Los parámetros β_0 y β_1 se denominan *coeficientes de regresión*; en particular, β_0 es el *termino independiente* y β_1 es la *pendiente*.

Dicho de otra manera, el modelo de regresión simple, consiste en ajustar una recta a una nube de puntos (en el plano), de tal modo que nos permita obtener valores lo más ajustados posibles de la variable respuesta y a partir de una transformación lineal de la variable explicativa x .

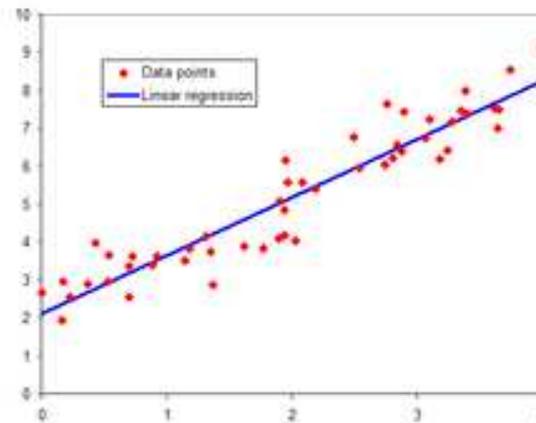


Figura 12: Ajuste de una recta de regresión a una nube de puntos

Para poder considerarse válido, el modelo de regresión lineal simple, es necesario que se satisfagan las siguientes hipótesis:

- *Linealidad*: Si pretendemos ajustar una línea recta a un conjunto de datos, es fundamental que la representación gráfica de estos (nube de puntos), tenga un aspecto compatible con el de una recta. Si los datos son no lineales, tal vez sea posible encontrar una relación de los mismos que nos permite aceptar la hipótesis de linealidad para los datos transformados.
- *Homogeneidad*: Las perturbaciones tienen esperanza nula: $E(u_i) = 0, i = 1, \dots, n$. Esto significa que el ajuste que se va a hacer está centrado respecto de los datos.
- *Independencia*: Las perturbaciones $(u_i, i = 1, \dots, n)$ son variables aleatorias independientes.
- *Normalidad*: Los errores tienen una distribución normal: $u_i \sim N(0, \sigma^2)$. Es decir que se distribuyen siguiendo una *campana de Gauss*.

Una vez ajustado un modelo, debemos comprobar que la variable explicativa (x) es *significativa* (o de un modo más claro, que su correspondiente coeficiente es claramente distinto de cero). Como **indicador de calidad** de la regresión, tenemos el coeficiente R^2 , que representa el porcentaje de variabilidad de la variable respuesta explicado por el modelo.

Para finalizar y una vez hemos ajustado un modelo, debe efectuarse la *diagnosis* del mismo, que consiste en comprobar las hipótesis del modelo a partir del estudio de los *residuos* (errores de ajuste).

Regresión lineal múltiple: En lugar de una única variable explicativa tenemos varias (x_1, x_2, \dots, x_k) , que contribuyen a explicar la variable dependiente y . El modelo que pretendemos ajustar será ahora $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + u$. Los parámetros $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ se consideran *coeficientes de regresión*; en particular, β_0 es el *termino independiente* y el resto determinan la influencia de cada uno de los factores. El objetivo de este modelo de regresión es encontrar una relación entre las variables que se ajuste lo mejor posible a los datos.

Las hipótesis del modelo y la *diagnosis* son equivalentes al modelo de regresión simple. En cuanto a la significatividad de las variables explicativas, debemos comprobarla ahora para cada una de ellas. En lugar del indicador R^2 se suele considerar el R^2 *ajustado* que tiene en cuenta el número de variables del modelo, de tal modo que al aumentar el número de variables si el resultado no mejora sensiblemente, este R^2 *ajustado* disminuirá.

Algunas veces al analizar la muestra de datos, vemos claramente que existen dos o más grupos de observaciones, si se ignorase este hecho, la recta de regresión estimaría el modelo con muy poca precisión, se debería estimar dos o más rectas (una por cada grupo de observaciones) para obtener ajustes mucho mejores. Esto se soluciona con *variables dicotómicas*, que toman el valor 0 ó 1, según un individuo esté dentro de un grupo (población) o no. Tenemos una serie temporal con datos recogidos con periodicidad mensual. Construiremos *variables dicotómicas* para cada uno de los meses y también para ciertos grupos de meses.

II. TIPO DE DATOS

Hasta ahora las tasas de accidentes, que hemos tenido en cuenta para las distintas categorías, eran constantes (la media) durante estos 3 años (*modelo estático*). A partir de ahora la tasa cambiará cada mes siguiendo la pendiente de una curva que tiene como variables el *tiempo* (desde Enero 07 a Diciembre 09) y una *variable dicotómica* para cada mes (Enero, ..., Diciembre) o grupo de meses (invierno-verano).

Si ajustásemos las tasas de accidentes (decrecientes según pasa el tiempo) a la pendiente negativa de una recta, llegaría un momento que las tasas serían negativas y eso no tiene sentido. Por este motivo utilizamos la pendiente negativa de una curva, para ello intentaremos ajustar el logaritmo (log) de las tasas. Además, tratándose de una tasa es más natural estudiar cambios porcentuales en la misma (que son los que estudiamos con los logaritmos) que variaciones en unidades naturales.

Partiendo de la “Figura 6: Evolución temporal de accidentes en envasado”, si nos fijamos en la línea negra, correspondiente a la categoría de los “Oficiales y Jefes”, parece que los accidentes van descendiendo según van pasando los años y que algunos meses como Junio y Julio, en los 3 años, son meses con un incremento notorio de accidentes con respecto del resto de meses:

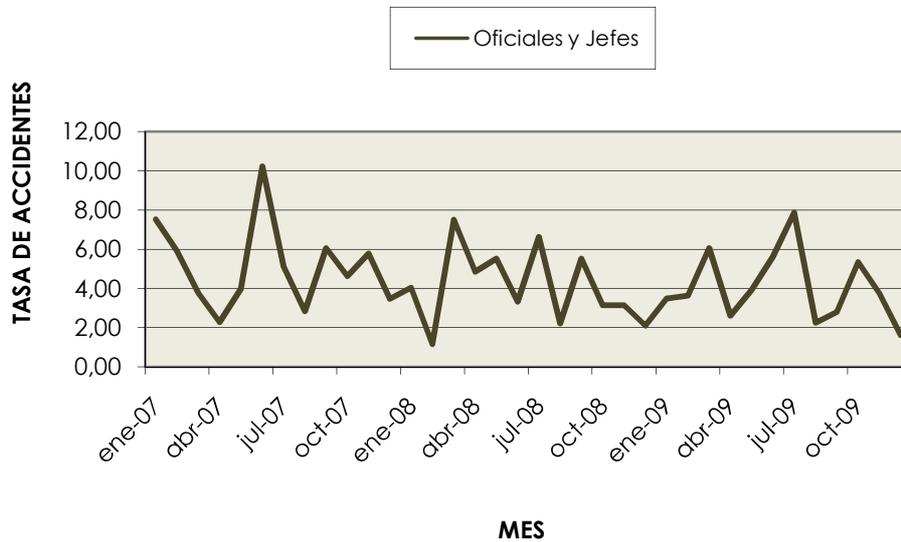


Figura 13: Evolución de la tasa accidentes de “Oficiales y Jefes” en envasado

En la siguiente figura se aprecia mejor la *estacionalidad* (comportamiento cíclico). A simple vista ya se observa que la *tendencia* es poco importante.

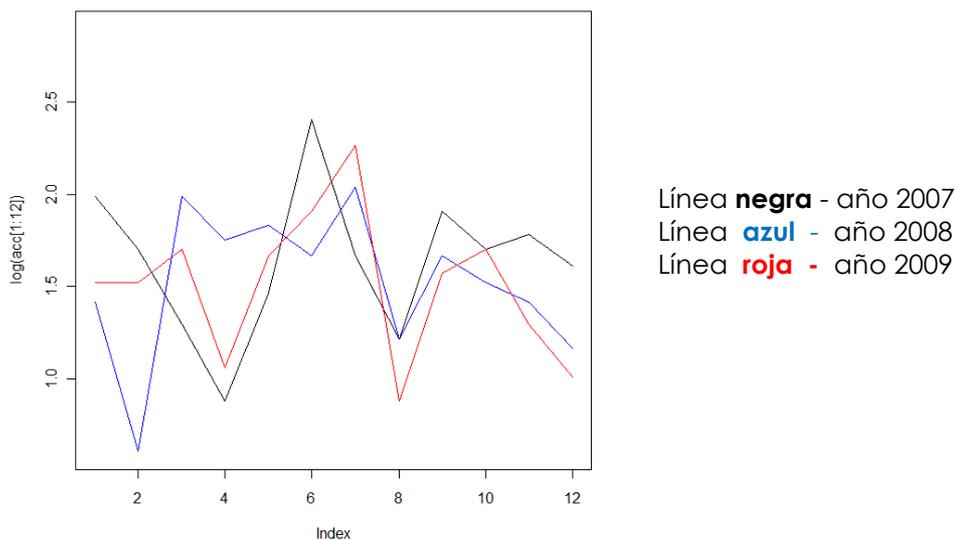


Figura 14: Logaritmo de la tasa accidentes

Utilizaremos 2 modelos distintos para ajustar el logaritmo de las tasas de accidentes.

III. PRIMER MODELO

En un modelo de regresión hay 2 objetivos fundamentales:

- Conocer la relación entre variable respuesta y explicativa.
- Utilizar un modelo ajustado para predecir el valor de la variable respuesta.

III.1. Ajuste de regresión

En el primer modelo, prediciremos el logaritmo de la tasa de accidentes a partir de una variable temporal t , que toma el valor 1 para Enero de 2007, 1+1/12 para Febrero de 2007 y así hasta 3+11/12 para Diciembre de 2009. Además para cada mes, tenemos una variable que toma el valor 0 o 1 según estemos en ese mes o no. El modelo será:

$$\text{Log}(\lambda) = \beta_{13}t + \beta_1X_{ene} + \dots + \beta_{12}X_{dic} + U$$

Debemos comentar, que en este modelo no aparece el término independiente. Por lo tanto, hay una variable explicativa asociada a cada mes. Si hubiéramos utilizado un término independiente, tendríamos que haber eliminado una de las *variables dicotómicas* correspondientes a un mes.

Tabla 9: Primer modelo, todas las variables

Coefficientes	Valor estimado	P-valor
β_{13}	-0.06370	0.351
β_1	1.76813	9.63e-08
β_2	1.40769	4.18e-06
β_3	1.79972	1.15e-07
β_4	1.37198	8.94e-06
β_5	1.80330	1.78e-07
β_6	2.14586	1.17e-08
β_7	2.14912	1.47e-08
β_8	1.26633	5.42e-05
β_9	1.88424	2.26e-07
β_{10}	1.81576	5.17e-07
β_{11}	1.67711	2.19e-06
β_{12}	1.44731	2.10e-05
R ² : 0.9732		R ² ajustado: 0.9581

Los valores estimados (segunda columna), son las estimaciones de los coeficientes de la regresión. En la última columna (P-valor), el valor que aparece es el que compararemos con 0,05, si es mayor, asumimos que la variable no es *significativa*, si es más pequeño que 0,05, si lo es.

Es decir, para cada variable explicativa efectuamos el contraste. $H_0: \beta_i = 0$; $H_1: \beta_i \neq 0$. Si el *p-valor* de cada uno de estos contrastes es menor que 0.05, entonces nos quedamos con la hipótesis alternativa y asumimos que la correspondiente variable es *significativa*. Si alguna variable no es *significativa*, la eliminamos del modelo y volvemos a calcular las estimaciones de los coeficientes de regresión.

Como la *tendencia* (β_{13}) no es *significativa*, la eliminamos y ajustamos el resto del modelo.

Tabla 10: Primer modelo, variables significativas

Coeficientes	Valor estimado	P-valor
β_1	1.6407	7.15e-09
β_2	1.2750	5.57e-07
β_3	1.6617	5.66e-09
β_4	1.2286	1.00e-06
β_5	1.6547	6.12e-09
β_6	1.9919	1.73e-10
β_7	1.9899	1.77e-10
β_8	1.1018	5.16e-06
β_9	1.7144	3.16e-09
β_{10}	1.6406	7.16e-09
β_{11}	1.4966	3.75e-08
β_{12}	1.2615	6.60e-07
R ² : 0.9722		R ² ajustado: 0.9583

III.2. Diagnósis

Ahora todos los valores son significativos. Habría que realizar, al menos, un mínimo estudio de los residuos (**diagnósis**). Los residuos son la diferencia entre el valor real y el valor ajustado. A continuación podemos ver 2 gráficos: de *residuos* frente *valores ajustados* (izq) y de *residuos* frente a *tiempo* (dcha). En la diagnósis vemos que se han ajustado aproximadamente igual de bien todos los valores.

Valores ajustados: para cada dato, tenemos un valor ajustado (aproximado) \hat{y} , éste lo obtenemos al sustituir los coeficientes β por su estimación. Obtendremos así la predicción del logaritmo de cada tasa de accidentes.

Residuos: diferencia entre cada observación y su valor ajustado $y - \hat{y}$. Para cada observación (de la 1 a la 36) tenemos un residuo, que es la diferencia entre el logaritmo de la tasa de accidentes y el valor ajustado de la misma.

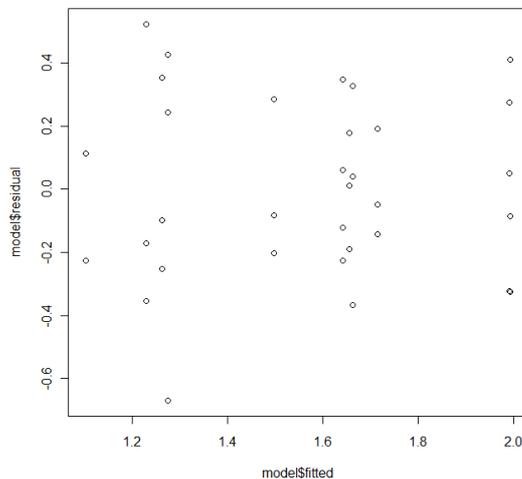


Figura 15: Residuos frente a valores ajustados

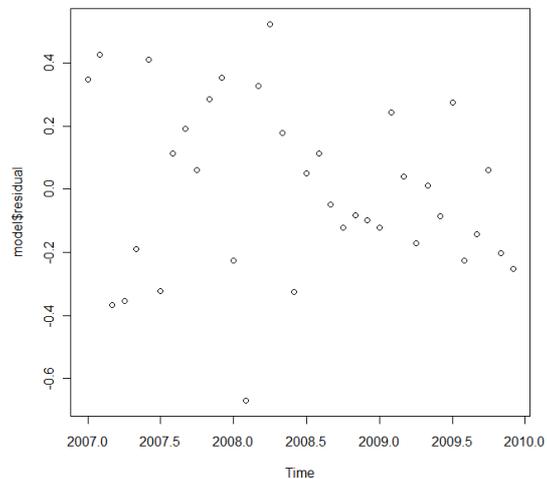


Figura 16: Residuos frente a tiempo

model\$fitted: valores ajustados (\hat{y}), predicción del logaritmo de cada tasa.

model\$residual: residuos ($y - \hat{y}$), logaritmo de la tasa menos su valor ajustado.

Time: hace referencia a cada uno de los meses del estudio.

También deberíamos comprobar que los residuos siguen, aproximadamente distribución normal:

H_0 : los residuos siguen una distribución normal.

H_1 : los residuos no siguen una distribución normal.

Para ello, podemos utilizar un **gráfico Q-Q** ("Q" viene de *cuantil*), que es un buen método para el diagnóstico de diferencias entre la distribución de probabilidad de una población de la que se ha extraído una muestra aleatoria y una distribución usada para la comparación (nosotros usamos una *Normal*).

Si la distribución de los residuos es la misma que la distribución de comparación (*Normal*), se obtendrá aproximadamente, una línea recta, especialmente cerca de su centro. En el caso de que se diesen desviaciones sustanciales sobre esta recta, tendríamos que rechazar la hipótesis nula de normalidad.

En la siguiente gráfica se comprueba que los residuos se ajustan razonablemente bien a una *Normal*:

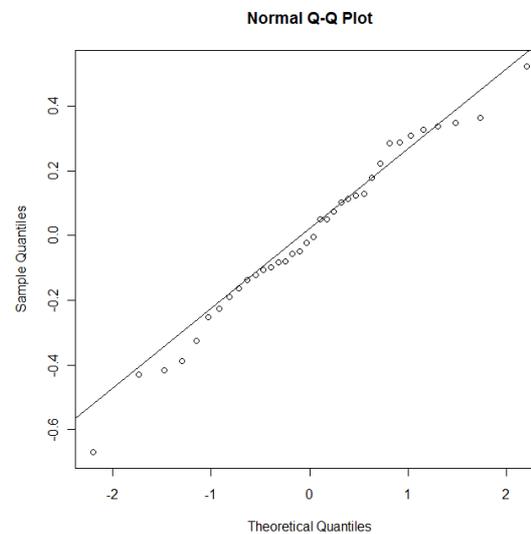


Figura 17: Gráfico Q-Q de los residuos (del primer modelo) frente a una distribución Normal

Cada punto de la gráfica tiene por ordenada un residuo y por abscisa el *cuantil* de una *normal* estándar que corresponde con la ordenación del mismo.

Alternativamente podría realizarse un contraste de bondad de ajuste (*Chi-cuadrado*) como se hizo para las tasas en un capítulo anterior o bien *Shapiro-Wilk* de normalidad.

El test de **Shapiro-Wilk**, se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Se plantea como hipótesis nula que una muestra x_1, \dots, x_n proviene de una población normalmente distribuida. Es uno de los mejores contrastes de normalidad, sobre todo para muestras pequeñas.

Para el contraste de normalidad de *Shapiro-Wilk* aplicado a los residuos, obtenemos un *p-valor* 0.7424. Específicamente el contraste consiste en comprobar:

H_0 : los datos proceden de una población normal.

H_1 : los datos no proceden de una población normal.

Como el *p-valor* es mayor que 0.05, entonces aceptamos la hipótesis nula y asumimos que los datos proceden de una población normal.

Con esto concluimos que el modelo está bien ajustado. Según lo que hemos visto, la serie no tiene *tendencia*, la tasa de accidentes ni disminuye ni aumenta de año en año, en cambio la componente estacional es bastante fuerte, va variando de mes en mes.

Con este modelo, podemos predecir la tasa de accidentes en meses futuros. Vemos que lo único relevante para la tasa es el mes. Podemos estudiar cómo varía la tasa de mes en mes y, como hemos ajustado el logaritmo de la tasa, podemos interpretar los coeficientes como cambios porcentuales en la tasa de accidentes.

III.3. Predicción

En este punto surgen dos tipos de situaciones en función de la pregunta que queremos responder:

1. Estimación de la respuesta media: "¿Cuál es la tasa media para los meses de Enero?".
2. Predicción de una nueva observación: "¿Cuál es la tasa específica de una fecha (MM/AAAA) particular?".

En ambos casos el valor estimado se obtiene sustituyendo el valor de la observación x_h en el modelo de regresión. No obstante, la precisión de las estimaciones es diferente.

En el primer caso, se da un **intervalo de confianza** (al 95%) para la tasa de accidentes de cada uno de los 12 meses del año. En el segundo obtendremos un intervalo más amplio denominado **intervalo de predicción** (al 95%) en cada uno de los 12 meses de un año futuro. Este segundo intervalo tiene mayor amplitud (menos precisión) porque no buscamos predecir un valor medio sino un valor específico.

En las 2 siguientes tablas, los valores se corresponden al logaritmo de las tasas. Si quisiésemos obtener las tasas tendríamos simplemente que hallar su exponencial.

Tabla 11: Intervalos de confianza (al 95%) para el primer modelo

Mes	Nivel medio	Extremo inferior	Extremo superior
Enero	1,64073	1,25083	2,03062
Febrero	1,27498	0,88508	1,66488
Marzo	1,66169	1,27179	2,05159
Abril	1,22864	0,838746	1,61854
Mayo	1,65466	1,26476	2,04455
Junio	1,99191	1,60201	2,38181
Julio	1,98986	1,59996	2,37976
Agosto	1,10176	0,711867	1,49166
Septiembre	1,71436	1,32447	2,10426
Octubre	1,64057	1,25068	2,03047
Noviembre	1,49662	1,10672	1,88652
Diciembre	1,26151	0,871615	1,65141

En la siguiente tabla los intervalos de predicción se refieren a un año (específico), podría ser el año actual, o el siguiente por ejemplo.

Tabla 12: Intervalos de predicción (al 95%) para un año específico (cualquiera), para el primer modelo

Mes	Nivel medio	Extremo inferior	Extremo superior
Enero	1,64073	0,860931	2,42052
Febrero	1,27498	0,495183	2,05477
Marzo	1,66169	0,881896	2,44149
Abril	1,22864	0,448848	2,00844
Mayo	1,65466	0,87486	2,43445
Junio	1,99191	1,21211	2,7717
Julio	1,98986	1,21007	2,76966
Agosto	1,10176	0,321969	1,88156
Septiembre	1,71436	0,934568	2,49416
Octubre	1,64057	0,860779	2,42037
Noviembre	1,49662	0,716824	2,27642
Diciembre	1,26151	0,481718	2,04131

IV. SEGUNDO MODELO

IV.1. Ajuste de regresión

En este segundo modelo, prediciremos el logaritmo de la tasa de accidentes a partir de una variable temporal t , que toma el valor 1 para Enero de 2007, 1+1/12 para Febrero de 2007 y así hasta 3+11/12 para Diciembre de 2009. Además agruparemos los meses en temporadas de 6 meses cada una, de verano (Mayo a Octubre) y de invierno (Noviembre a Abril). Para cada temporada creamos una *variable dicotómica* que toma el valor 0 o 1 según estemos en esa temporada o no. El modelo será:

$$\text{Log}(\lambda) = \beta_3 t + \beta_1 X_{inv} + \beta_2 X_{ver} + U$$

En este modelo también hemos eliminado el término independiente.

Tabla 13: Segundo modelo, todas las variables

Coefficientes	Valor estimado	P-valor
β_3	-0.07878	0.282
β_1	1.61446	1.08e-09
β_2	0.20318	1.06e-10
R ² : 0.9504		R ² ajustado: 0.9459

Con lo que nos encontramos en la misma situación que en el modelo anterior, sólo importa la temporada, no hay *tendencia*. Eliminamos t y obtenemos:

Tabla 14: Segundo modelo, variables significativas

Coefficientes	Valor estimado	P-valor
β_1	1.42736	<2e-16
β_2	1.68219	<2e-16
R ² : 0.9486		R ² ajustado: 0.9456

Es decir, lo realmente relevante es la temporada del año en la que estemos (invierno-verano). Este modelo es mucho más sencillo que el anterior y predice casi igual de bien.

IV.2. Diagnósis

En este segundo modelo, a diferencia del anterior, tenemos dos poblaciones (invierno-verano) de residuos que queremos comparar mediante un gráfico Q-Q o un contraste de normalidad de *Shapiro-Wilk*. Representaremos también los 18 residuos de los meses de invierno y los 18 de verano respectivamente mediante histogramas para compararlos.

Tabla 15: Residuos de los meses de invierno

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Noviembre	Diciembre
2007	0.56188114	0.27374297	-0.13263497	-0.55189340	0.35434700	0.18606780
2008	-0.01393911	-0.82304617	0.56188114	0.32530995	-0.01393911	-0.26421133
2009	0.09215107	0.09215107	0.27374297	-0.36957184	-0.13263497	-0.41940421

Tabla 16: Residuos de los meses de verano

	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
2007	-0.21662063	0.72114683	-0.01636992	-0.46727542	0.22438697	0.01891693
2008	0.15039329	-0.01636992	0.35773261	-0.46727542	-0.01636992	-0.16267496
2009	-0.01636992	0.22438697	0.58165610	-0.80671943	-0.11149108	0.01891693

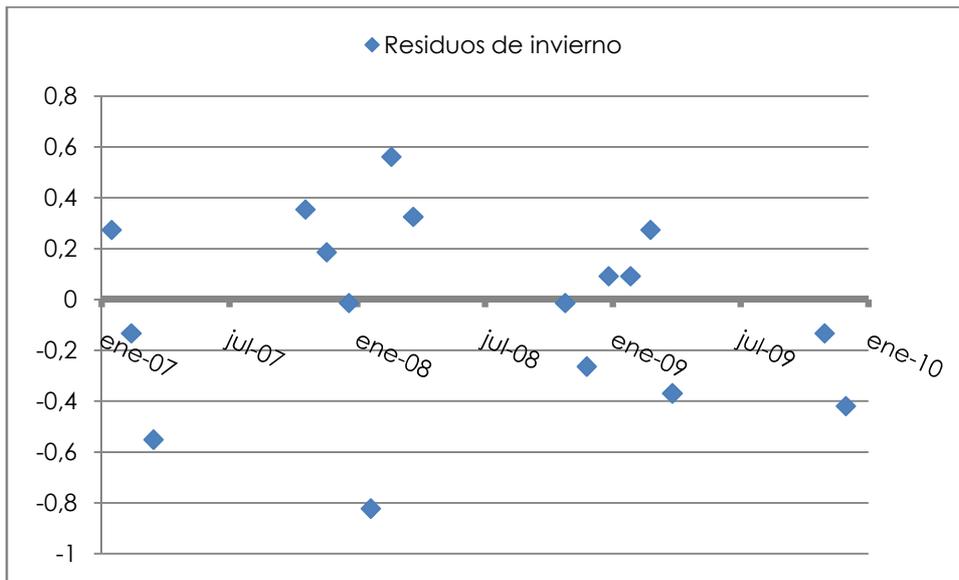


Figura 18: Residuos de los meses de invierno

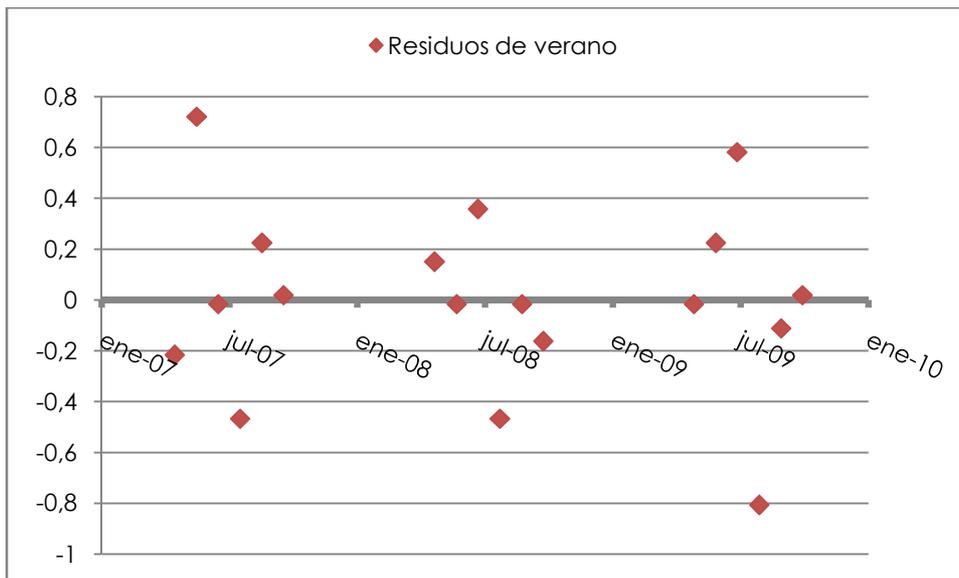


Figura 19: Residuos de los meses de verano

Si comparamos la distribución de los residuos de ambos conjuntos (invierno-verano), podemos apreciar que son parecidas. Primero utilizaremos un gráfico Q-Q para comparar ambas distribuciones, emparejando los valores de ambos conjuntos ordenados de menor a mayor, utilizando el eje de abscisas para los residuos de invierno y el eje de ordenadas para los de verano.

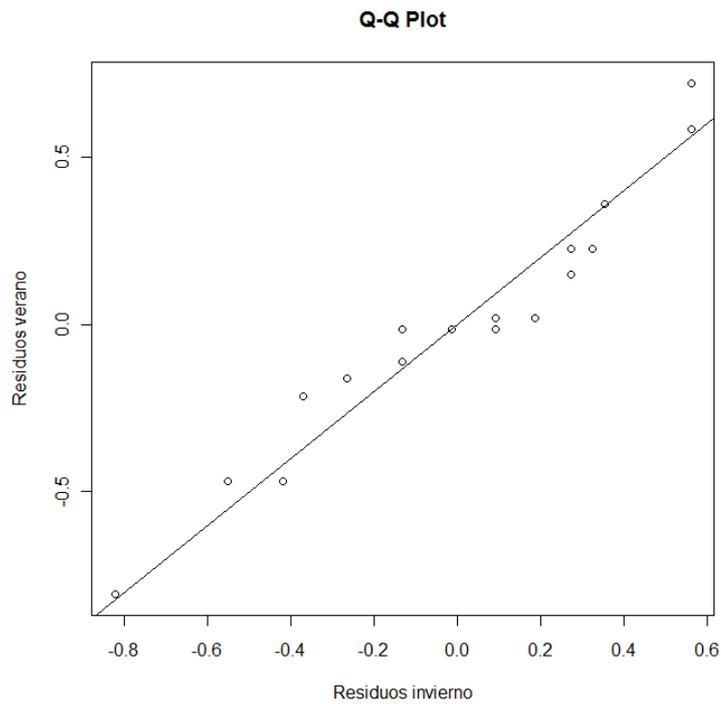


Figura 20: Distribución de los residuos de invierno frente a los de verano

Seguidamente mediante un histograma, volvemos a comparar los residuos de invierno (rosa) y verano (granate) para ver cómo, en efecto, ambas distribuciones son parecidas, es decir que el ajuste es igual de bueno en los dos periodos.

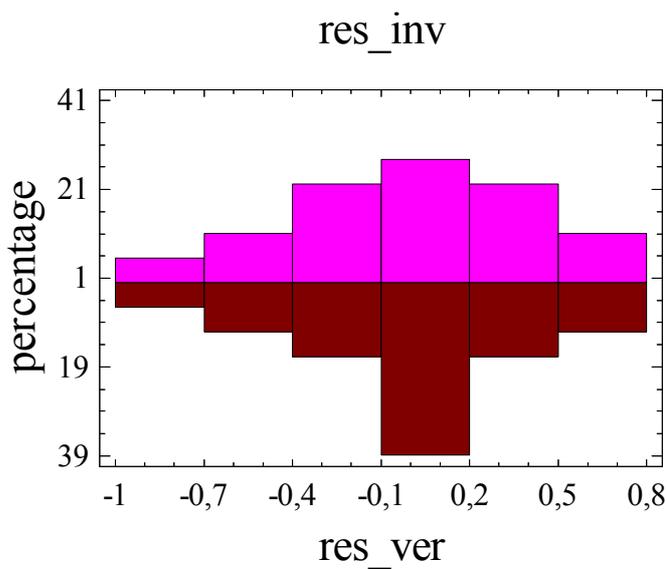


Figura 21: Distribución de los residuos de invierno y verano

Siguiendo con la diagnosis (estudio de residuos), comprobaremos que los residuos siguen, aproximadamente distribución normal:

H_0 : los residuos siguen una distribución normal.

H_1 : los residuos no siguen una distribución normal.

Primero utilizaremos un **gráfico Q-Q** comparando la distribución de los residuos con una distribución *Normal*.

Si la distribución de los residuos es *Normal* se obtendrá, aproximadamente, una línea recta, especialmente cerca de su centro y aceptaremos la hipótesis nula. En el caso de que se den desviaciones sustanciales de la linealidad, tendríamos que rechazarla.

En la siguiente gráfica se comprueba que los residuos se ajustan razonablemente bien a una *Normal*:

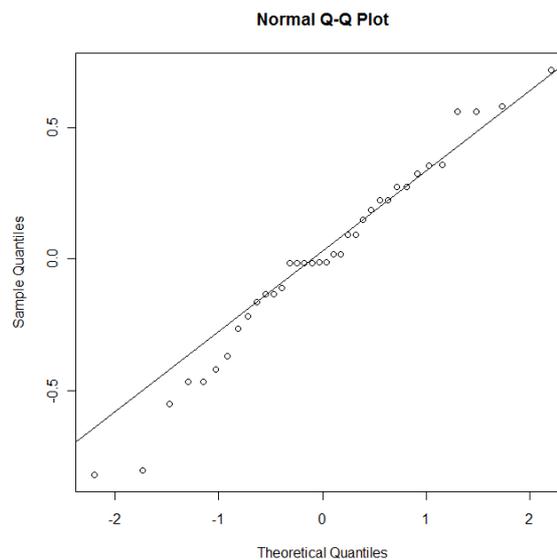


Figura 22: Gráfico Q-Q de los residuos (del segundo modelo) frente a una distribución Normal

Para el contraste de normalidad de **Shapiro-Wilk** aplicado a los residuos, obtenemos un *p-valor* 0.6431. Como el *p-valor* es mayor que 0.05, entonces aceptamos la hipótesis nula (los datos proceden de una población normal). Si los estudiásemos por separado el resultado sería el mismo ya que el *p-valor* para los residuos de invierno sería 0,752933 mientras para los residuos de verano el *p-valor* sería 0,68374.

Con esto concluimos que el modelo está bien ajustado. Según lo que hemos visto, la serie no tiene *tendencia*, la tasa de accidentes ni disminuye ni aumenta con el paso del tiempo, sin embargo la componente estacional es bastante fuerte, varía con un incremento de la tasa en los meses de verano (Mayo a Octubre) con respecto de los meses de invierno (Noviembre a Abril).

Con este modelo, podemos predecir la tasa de accidentes en meses futuros. Vemos que lo único relevante para la tasa es la época del año (invierno-verano).

IV.3. Predicción

A partir de este modelo podemos obtener *intervalos de confianza* (al 95%) para la tasa de accidentes a lo largo de cada uno de los 12 meses del año.

Tabla 17: Intervalos de confianza (al 95%) para el segundo modelo

Mes	Nivel medio	Extremo inferior	Extremo superior
Enero	1,42736	1,24834	1,60638
Febrero	1,42736	1,24834	1,60638
Marzo	1,42736	1,24834	1,60638
Abril	1,42736	1,24834	1,60638
Mayo	1,68219	1,50317	1,86121
Junio	1,68219	1,50317	1,86121
Julio	1,68219	1,50317	1,86121
Agosto	1,68219	1,50317	1,86121
Septiembre	1,68219	1,50317	1,86121
Octubre	1,68219	1,50317	1,86121
Noviembre	1,42736	1,24834	1,60638
Diciembre	1,42736	1,24834	1,60638

Podemos observar que los valores se repiten para todos los meses pertenecientes al intervalo de *invierno* y lo mismo sucede con los meses de *verano*. Por este motivo podemos reducirlos a la siguiente tabla:

Tabla 18: Intervalos de confianza (al 95%) para el segundo modelo (REDUCIDA)

Mes	Nivel medio	Extremo inferior	Extremo superior
Invierno	1,42736	1,24834	1,60638
Verano	1,68219	1,50317	1,86121

También podemos construir un *intervalo de predicción* (al 95%) para la tasa de accidentes en cada una de las 2 temporadas de un año prefijado, por ejemplo el actual.

Tabla 19: Intervalos de predicción (al 95%) para un año específico (cualquiera), para el segundo modelo (REDUCIDA)

Mes	Nivel medio	Extremo inferior	Extremo superior
Invierno	1,42736	0,647039	2,20769
Verano	1,68219	0,901865	2,46251

V. CONCLUSIONES

Tras haber realizado dos modelos de regresión, que tienen en común una variable t (tiempo), que nos indica el paso de los meses para ver cómo se comportan las tasas de accidentes a lo largo del tiempo (si disminuyen por ejemplo), podemos concluir con que la tasa de accidentes no tiene *tendencia*, es decir que no podemos afirmar que ésta disminuya o aumente con el paso del tiempo.

En el primero tratábamos las tasas mensuales de accidentes de forma individual con una *variable dicotómica* para cada una de ellas y en el segundo juntábamos las tasas de accidentes en un conjunto para los meses de *invierno* y otro distinto para los meses de *verano* también mediante *variables dicotómicas* para analizar la *estacionalidad*.

Hemos visto que los datos forman una serie temporal *estacional* a lo largo de un año, es decir que las tasas de accidentes tienen un comportamiento cíclico. Concluimos afirmando que la tasa, en el primer modelo, depende del mes al que se refiera y en el segundo modelo, la tasa dependerá de la época del año (invierno-verano), sabiendo que, **en verano la tasa de accidentes es notoriamente superior que en invierno.**

Tanto para el primer modelo (izq.) como para el segundo (dcha.) hemos realizado la previsión de las futuras tasas de accidentes, para ello hemos dado unos *intervalos de confianza* e *intervalos de predicción* para cada uno de los meses. Podemos comprobar en los gráficos como ciertamente, los *intervalos de predicción* son más amplios que los *intervalos de confianza*.

En el segundo modelo se puede apreciar que los 6 meses pertenecientes al periodo de invierno tienen el mismo intervalo y lo mismo sucede con el periodo de verano. Sin embargo en el primer modelo vemos que los meses son independientes unos de otros.

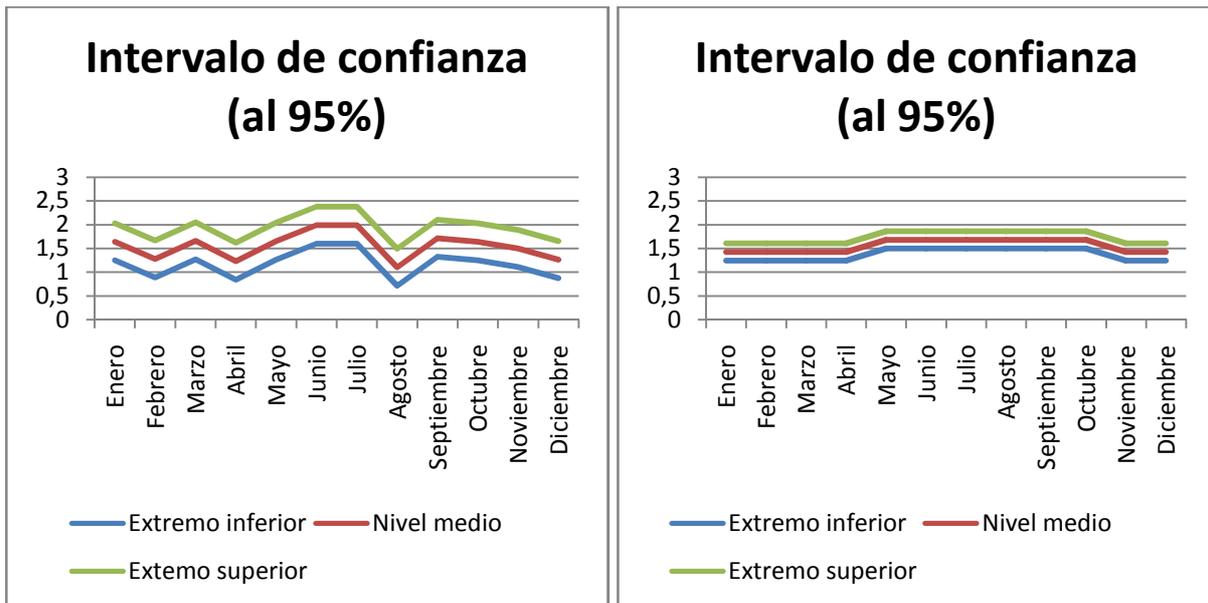


Figura 23: Intervalos de confianza del primer y segundo modelo

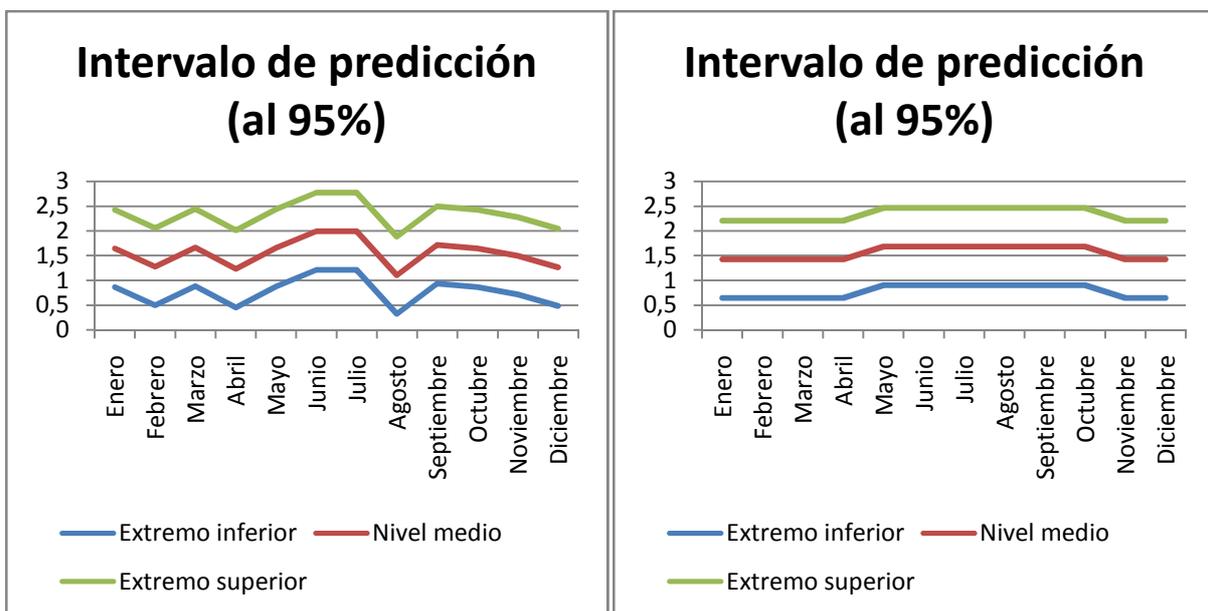


Figura 24: Intervalos de predicción del primer y segundo modelo

VI. CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto es analizar los accidentes laborales en un centro de trabajo para poder encontrar alguna relación entre ellos y así poder, de cara al futuro, trabajar en la dirección correcta para poder evitarlos y que estas cifras (tasas de accidentes) disminuyan.

Después de desplegar los accidentes por sus causas, categoría del trabajador, sección del trabajador, etc. podemos afirmar que las categorías de Oficiales y Jefes tienen una tasa de accidentes menor que las categorías de Auxiliares, quizás debido a que los primeros son más veteranos y conocen más el lugar de trabajo y sus riesgos.

Hemos llegado también a la conclusión de que estadísticamente, no podemos afirmar que con el paso de los años la tasa de accidentes de los Oficiales y Jefes en la sección de envasado (a la que pertenecen la mayoría de los trabajadores) vaya decreciendo. Sin embargo si podemos afirmar que unos meses del año tienen más probabilidad de accidentabilidad que otros. Junio, Julio y Septiembre son los meses con mayor tasa de accidentabilidad, quizás la explicación esté en la ampliación de turnos, es decir que en estos meses se trabaja también por la noche en la mayoría de las líneas y algunos Sábados.

Como trabajo a futuro, se puede comenzar por escoger a los trabajadores que más accidentes tienen, los de una determinada sección, o los de una determinada categoría por ejemplo y darles una charla acerca de la importancia que tiene la seguridad en el trabajo, sobre todo para su propia salud y todo esto se debería hacer llegando la época del mes de Mayo que es cuando empieza la franja veraniega, que es la época del año en la que más accidentes se producen en esta planta.

Por otra parte, es importante que se lleve a cabo una supervisión de la correcta utilización de los EPI's y de las medidas de seguridad, para así de esta forma lograr mejor y mayor utilización de estos.

Se puede también hacer una inversión acondicionando la nave, con el fin de mejorar el confort térmico (ya que el calor produce fatiga) y conseguir una mayor eficiencia energética; otra opción a tener en cuenta sería aumentar los tiempos de descanso de los trabajadores en verano.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- TOSCANI GIMÉNEZ, Daniel. *Curso Básico de Prevención de Riesgos Laborales*. 1ª edición. Albacete: Altabán, 2007. 230 p. ISBN: 978-84-96465-57-2.
- BOIX, Pere; GADEA, Rafael; TORADA, Rebeca; UBERTI-BONA Valeria; BLOUNT Estefanía. *Guía del Delegado y Delegada de Prevención*. 5ª edición. ISTAS, 2007. 287 p. ISBN: 84-87871-52-5.
- DÍEZ MATE, Carlos R; FRAILE CANTALEJO, Alejo; IGLESIAS MARTÍNEZ, Virtudes; LÓPEZ MUÑOZ, Gerardo; LUNA MENDAZA, Pablo (Trabajadores del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)). *Curso de capacitación para el desempeño de funciones de nivel básico*. Madrid: Sociedad de Prevención de FREMAP, 2007.
- GARCÍA, S. *Apuntes de regresión lineal simple y múltiple*. 2006. Disponibles en: http://www.est.uc3m.es/esp/nueva_docencia/leganes/ing_industrial/estadistica_II/doc%20grupo2006/archivos/apuntes_Est2.pdf
- PEÑA SÁNCHEZ DE RIVERA, Daniel. *Estadística Modelos y métodos 1. Fundamentos*. 2ª edición. Alianza Universidad Textos, 1991. 571 p. ISBN: 84-206-8109-1.
- UGARTE, M Dolores; MILITINO, Ana F. *Estadística Aplicada con S-PLUS*. 2ª edición. Servicio de publicaciones de la Universidad Pública de Navarra, 2002, 579 p. ISBN: 84-95075-78-4.
- Se han consultado entre otras las siguientes páginas Web y numerosa documentación incluida en esas páginas:
 - Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, [web en línea]. <www.insht.es>.
 - Norprevención, S.L, [web en línea]. <www.norprevencion.com>.
 - Confederación sindical de comisiones obreras (CCOO), [web en línea]. <www.ccoo.es>.
 - Sindicato Unión General de Trabajadores (UGT), [web en línea]. <www.ugt.es>.