00521
146

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"CALCULO DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE ACTOS INSEGUROS Y CONDICIONES INSEGURAS. MEDIANTE LA METODOLOGIA DE POISON Y CHI CUADRADA."

TRABAJO ESCRITO VIA CURSOS
DE EDUCACION CONTINUA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

Presenta

JORGE ARTURO ROSAS FERNANDEZ

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

MEXICO, D. F. 2003

A

Jurado asignado:

Presidente	Eugenio Fautsch Tapia
Vocal	Torvald Germund Axel Hojer Franzen
Secretario	José Antonio Castañeda Cid del Prado
1er Suplente	Rodolfo Torres Barrera
2do Suplente	Sara Elvia Meza Galindo

Sitio donde se desarrolló el tema:

Fundación Roberto Medellín

Nombre completo y firma del asesor del tema:

Ing. José Antonio Castañeda Cid del Prado ____________________

Nombre completo y firma del sustente:

Jorge Arturo Rosas Fernández ____________________

INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones más grandes de cualquier planta química, es la ejecución exitosa de los programas de Seguridad e Higiene Industrial. Actualmente, este concepto se ha ampliado al término CASH, que significa Calidad Ambiental, Seguridad e Higiene, por lo cual, las herramientas utilizadas para desarrollar este programa han aumentado de forma importante.

Dentro de las acciones encaminadas a prevenir los accidentes y verificar si las políticas de seguridad están funcionado, se encuentran los reportes de accidentes e incidentes.

Un **"accidente"**, lo podemos definir como: "Un suceso no deseado que da como resultado lesión a la gente, daño a la propiedad o pérdida para el proceso. Es el resultado del contacto con una sustancia o fuente de energia por encima de la capacidad límite del cuerpo o estructura"[1].

Un **"incidente"**, desde una perspectiva estrictamente de la seguridad es: "Un suceso que, bajo circunstancias ligeramente diferentes, podría haber resultado en lesión a las personas, daño a la propiedad o pérdida para el proceso. Dentro de un concepto más amplio, se refiere a un acontecimiento que podría resultar o que resulta en pérdida."[1]

Los **Reportes de accidentes / incidentes** mencionan cuales son las causas básicas y las causas inmediatas de los accidentes.

Las "causas inmediatas" de los accidentes, son las circunstancias que se presentan justamente ANTES del contacto. Por lo general, son observables o se hacen sentir. Con frecuencia se les denomina "actos inseguros" (o comportamientos que podrían dar paso a la ocurrencia de un accidente) y "condiciones inseguras" (o circunstancias que podrían dar paso a la ocurrencia de un accidente).

Este trabajo monográfico, esta orientado a evaluar un método, denominado:

"CALCULO DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE ACTOS INSEGUROS Y CONDICIONES INSEGURAS. MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE POISON Y JI CUADRADA"

Este método, consiste en obtener datos reales de los reportes de los incidentes y accidentes que se presentan en una planta química, de tal forma, que aplicando el tratamiento estadístico de Poison podremos obtener la probabilidad estandarizada de ocurrencia de Actos Inseguros y Condiciones Inseguras.

La obtención de la probabilidad de ocurrencia de un evento, nos es útil, ya que nos refiere que tan probable es que este evento se presente. Por ejemplo, si nos refieren que la probabilidad de realizar un Acto Inseguro determinado es de 0.3, es decir, el 30%, significa que de cada 100 actos inseguros, 30 podrían ser de un solo tipo, lo cual es una figura muy elevada.

En este trabajo, procesaremos datos de Actos y Condiciones Inseguras, y veremos que algunos de ellos tienen probabilidades muy bajas y algunos se presentan de forma constante y elevada.

Estos valores de probabilidad tienen la ventaja de poder indicar cuales son los Actos y Condiciones Inseguras más frecuentes, de tal forma, que podremos usar estos valores para buscar la forma de prevenirlos o disminuir su ocurrencia.

Una vez que se estandariza la probabilidad, entonces ya no depende de la población ni forzosamente para un periodo de tiempo ya que esta estandarizada.

Se revisó la bibliografía adecuada para determinar el método, mismo que se transcribe en este trabajo.

OBJETIVO

"Establecer el cálculo para la obtención de la probabilidad de ocurrencia de Actos Inseguros y Condiciones Inseguras, mediante la metodología de Poison y Ji cuadrada".

ENFOQUE

El método revisado se explicará a detalle y se utilizarán datos recopilados en una planta química.

Este método se explicará en detalle con la finalidad de obtener la metodología para la obtención de probabilidades de la ocurrencia de actos y condiciones inseguras en una industria química. Se utilizará la metodología de Poison y Ji cuadrada.

UTILIDAD

Este método tiene una alta utilidad, ya que al realizar de forma constante y precisa la recopilación de datos que indiquen el número de accidentes por un determinado Acto o Condición Insegura, a través del Reporte de Accidentes, podremos aplicarles un método de obtención de la probabilidad de ocurrencia de determinado acto o condición insegura.

Este método, se basa en la revisión de los datos de ocurrencia de un Acto o Condición insegura específicos, indicándonos cuándo se presento un incidente, dos incidentes o más. De tal forma, que obtendremos la probabilidad de que se presente: 1) ninguna vez, 2) una vez, 3) dos veces, 4) de tres a siete veces.

Si sabemos la probabilidad de que se presente 1 sola vez o más, podremos detectar cuales son los Actos y Condiciones inseguras más frecuentes y buscar la forma de disminuir su ocurrencia.

HIPÓTESIS

En base a valores obtenidos en una planta química y proporcionados por el asesor, se determinará la probabilidad de ocurrencia de los Actos y Condiciones Inseguras de la planta química generadora de dichos datos.

Estos valores se introducirán en el método de tratamiento estadístico de Poison, obteniendo una probabilidad estandarizada y se realizará su comprobación con el método de Ji Cuadrada.

La hipótesis plantea poder trabajar con los datos proporcionados siempre y cuando estos se presenten de la forma adecuada.

CONCLUSIONES ESPERADAS

Se pretende concluir de forma óptima al realizar el procesamiento de datos y poder obtener así, valores de probabilidad de la ocurrencia de Actos y Condiciones Inseguras, aplicables a la empresa generadora de dichos valores.

NOTA

El presente trabajo monográfico se desarrolló en las instalaciones de la Fundación Roberto Medellín, como resultado de haber cursado el "Diplomado en Seguridad e Higiene Industrial, Salud en el Trabajo y Protección Ambiental".

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN PROBABILÍSTICA DEL ERROR HUMANO[6]

Dentro de este trabajo, se investigó la Metodología para la determinación probabilística del error humano. Este procedimiento se basa en métodos estadísticos, de tal forma, que podemos obtener una probabilidad estándar y aplicable a diferentes industrias que tengan las mismas características.

VARIABLE ALEATORIA DISCRETA[2]

Los eventos de mayor interés científico, ingenieril o empresarial son los eventos identificados por números, por lo que son llamados eventos numéricos. Un especialista en Seguridad e Higiene Industrial está interesado en el evento de que siete de siete accidentes que ocurran se eviten. Como el valor de un evento numérico varía al repetir el muestreo, a este tipo de eventos se le conoce como variable aleatoria. A cada punto del espacio muestral se le asigna un número real que denota el valor de un evento numérico.

Una variable es una función de valores reales definida en un espacio muestral. Una variable aleatoria transforma los eventos de un espacio muestra en eventos numéricos. Por ejemplo, el evento de estudio en una encuesta con respecto a la preferencia de los votantes no es la gente en particular de la muestra, ni el orden en el cual se obtuvieron las preferencias sino el número de votantes en favor de cierto candidato o resultado. Este evento da lugar a una variable aleatoria, el número de votantes de la muestra en favor de cierto candidato o resultado, que solamente puede tomar un número finito de valores con una probabilidad diferente de cero. Es decir, el valor observado de la variable aleatoria de interés tiene que ser un número entero entre cero y el tamaño de la muestra. Una variable aleatoria de este tipo se dice que es discreta.

Para la obtención de la probabilidad de ocurrencia de Actos y Condiciones Inseguras, requerimos utilizar una variable discreta, es decir, valores observables de accidentes que se presentaban a lo largo de un periodo finito de meses. Se plantearon intervalos de datos que consistían en el número de accidentes que se presentaban en cada uno de los meses. De tal forma, que para 0 accidentes, se contabilizaron en cuantos meses hubo 0 accidentes para el total del periodo, para 1 accidente se contabilizo en cuantos meses hubo 1 accidente para el total del periodo y así sucesivamente. En ningún caso pudo ser 0 o 72 meses, con lo cual, cumplimos la característica de una variable discreta.

TEORÍA DE LA PROBABILIDAD

Ahora nos cuestionaremos ¿Por qué se estudiará la teoría de la probabilidad?. La respuesta es que, se necesita la probabilidad de una muestra observada para la realización de inferencias acerca de una población. Las observaciones muestrales son frecuentemente cálculos numéricos, es decir, valores de variables aleatorias discretas, siendo imperativo que se conozcan las probabilidades de estos eventos numéricos.

Dado que ciertos tipos de variables aleatorias ocurren con mucha frecuencia en la práctica, es útil disponer de las probabilidades para cada valor de una variable aleatoria. A éste conjunto de probabilidades se le conoce como distribución de probabilidad. Encontramos que muchos tipos de experimentos muestran características similares y generan variables aleatorias con la misma distribución de probabilidad.

LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DE POISON[2]

Supóngase que se desea encontrar la distribución de probabilidad del número de accidentes automovilísticos en un cruce en particular durante un periodo de una semana. Considere que el periodo de una semana se subdivide en ***n*** subintervalos, cada uno de los cuales es tan pequeño que podría ocurrir en él a lo mas un accidente, con una probabilidad diferente de cero. Denote la probabilidad de un accidente en cualquier subintervalo como ***p***, teniéndose entonces para fines prácticos,

P (un accidente en un subintervalo) = ***p*** es decir,

que de acuerdo a la definición planteada, P, la variable aleatoria será igual a una probabilidad ***p***.

P (ningún accidente en un subintervalo) = 1 – p siendo

P un conjunto de valores, que al sumarse dan el total del 100% o en fracciones igual a 1, la diferencia de 1 y el valor en fracción de p, será igual a la probabilidad de no tener ningún accidente.

De tal forma,

P (más de un accidente en un subintervalo) = 0 ya que

el conjunto P solo acepta valores de ***ningún accidente (1-p)*** y ***un accidente (p)***, por lo cual la probabilidad de tener más de un accidente no existe.

De este modo el número total de accidentes en una semana es exactamente el número total de subintervalos que contienen un accidente. Si se puede considerar la ocurrencia de accidentes como independientes de un intervalo a otro. Aunque no hay manera única de elegir los subintervalos, y por eso no conocemos ***n*** ni ***p***, parece razonable que la probabilidad ***p*** de un accidente en uno de los subintervalos decrecerá al dividir la semana en un número ***n*** cada vez mayor de subintervalos.

Introduciendo la siguiente definición

$$\lambda = np$$

y aplicando un desarrollo matemático, obtenemos

$$p(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$$

Por lo tanto, las variables aleatorias que tienen esta distribución se denominan variables aleatorias de Poison. Por lo tanto, el número de accidentes en una semana, tendría que tener una Distribución de Poison como la antes explicada. La convergencia de la función de probabilidad binomial hacia la de Poison tiene un valor práctico, porque se pueden utilizar las probabilidades de Poison para aproximar sus correspondientes binomiales para valores grandes de ***n***, valores pequeños de ***p***, y $\lambda = np$.

La Distribución de Poison proporciona muchas veces un buen modelo para la distribución de probabilidad para el número de eventos raros que ocurren poco frecuentes en el espacio, tiempo y volumen o cualquier otra dimensión, en donde λ representa el valor promedio de las variables aleatorias. Como se ha observado, proporciona un buen modelo *para la distribución de accidentes industriales u otro tipo de accidentes en una unidad de tiempo dada.*

APLICACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE POISON Y LA PRUEBA JI-CUADRADA

La distribución de Poison proporciona un buen modelo para la distribución de *accidentes industriales u otro tipo de accidentes en una unidad de tiempo determinada.*

Con la finalidad de explicar la aplicación de la Distribución de Poison, se realizará un ejercicio de dicho procedimiento incluyendo su comprobación (Prueba Ji-Cuadrada) tomando como ejemplo un caso reportado, con datos históricos recolectados y capturados de 1990 a 1995, y así poder encontrar la probabilidad de ocurrencia (Distribución de Poison) y la tasa promedio de accidentes / incidentes mensualmente (λ) con sus respectivos cálculos, paso por paso.

TABLA DE OBSERVACIONES

Para el cálculo de la Distribución de Poison necesitamos conocer algunas variables como el número de eventos o incidentes que han sucedido (***x***) y el número específico de la muestra (observación) para cada evento (***n***).

Estos datos, son producto de una tesis de investigación realizada en 1997 con datos recolectados en una empresa química. Se anexan en este trabajo monográfico con la finalidad de explicar el procedimiento.

En la tesis, se recopiló una muestra de 72 meses (1990 a 1995) con los datos históricos que se tenían, dicha muestra se presenta anualmente:

x	1990	1991	1992	1993	1994	1995	n	x * n
0	6	8	3	6	1	1	25	0
1	1	3	5	5	9	7	30	30
2	3	1	2	0	1	3	10	20
3	1	0	2	0	1	1	5	15
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	1	5
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	1	7

Estos datos se tomaron de los Reportes de Accidentes e Incidentes de la empresa, generándose una tabla con diferentes datos en los encabezados de las filas:

Departamento
Día de la Semana
Hora
Actos Inseguros
Condiciones Inseguras
Factores Personales
Factores de Trabajo

En este caso, se tomaron los valores recopilados de accidentes generados por Actos Inseguros, específicamente del tipo No llamar la atención o Asegurar que pueden provocar un incidente.

Es decir, para el evento de que ocurran 0 Incidentes *(x=0)* en una muestra total de 72 meses, se detectaron 25 veces o en 25 meses, esto es, que en 25 de 72 meses no se presentaron Incidentes, mientras que para el evento de que ocurra por lo menos 1 Incidente *(x=1)* en una muestra total de 72 meses, se detectaron 30 veces o en 30 meses, es decir, que en 30 de 72 meses se presentó al menos un Incidente, y así sucesivamente; esto no quiere decir que de una muestra como un total de 30 se presentó sólo un Incidente sino que ocurrieron 30 veces al menos un Incidente.

RECOMENDACIONES Y PRECAUCIONES EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Para poder obtener los datos a utilizar en esta metodología, se requiere que la empresa tenga un registro detallado de los accidentes / incidentes que se han presentado en la planta a lo largo de por lo menos 3 años de actividad.

1. El primer paso a seguir es revisar los Reportes de Accidentes / incidentes de la empresa.

Este reporte debe tener, entre otros datos los siguientes:

Tipo de evento:	Incidente, Accidente con Lesión, Accidente sin Lesión.
Departamento:	Donde se generó el accidente. Se debe contar con una separación clara de áreas para el análisis.
Día de la semana:	De Lunes a Domingo.
Hora:	Hora exacta del accidente, especificando el turno.
Acto inseguro:	Se debe especificar que Acto Inseguro provocó el accidente. Es importante tener definidos los diferentes actos inseguros.
Condiciones inseguras:	Se debe especificar que Condición Insegura provocó el accidente. Es importante tener definidos las diferentes condiciones inseguras.

Etc.

2. El segundo paso es realizar una captura de los reportes de Accidentes e Incidentes en una tabla donde se puedan analizar.

   En la siguiente página, se muestra un ejemplo de la captura de los datos usados en este trabajo de la planta química.

3. El tercer paso es decidir cual es la probabilidad que queremos calcular. En este caso se pretende obtener la probabilidad de ocurrencia de Incidentes provocados por un Acto Inseguro específico que es el No llamar la atención o Asegurar.

4. Una vez que hemos decidido que probabilidad se calculará, se generara una Tabla de Observaciones en donde se muestre en las columnas el número de mes y el año y en las filas el valor x, es decir el número de eventos. De tal forma, que para el ejemplo utilizado, en el mes de febrero de 1992 se presentaron 1 incidente (x=1), para junio de 1994 se presentaron 1 incidente (x=1), para noviembre de 1993 se presentaron 7 incidentes (x=7), etc.

   En la siguiente página se muestra la tabla de observaciones utilizada para generar la siguiente tabla.

x	1990	1991	1992	1993	1994	1995	n	x*n
0	6	8	3	6	1	1	25	0
1	1	3	5	5	9	7	30	30
2	3	1	2	0	1	3	10	20
3	1	0	2	0	1	1	5	15
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	1	5
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	1	7

Ejemplo de la Captura de Reportes de Accidentes/Incidentes de valores utilizados en el ejemplo.

Enero 1999 Departamento		Día de la Semana	Hora	Actos Inseguros	Condiciones Inseguras	Factores Personales	Factores de Trabajo	Probabilidad
Acc/Inc								
	A B C D E F G H I J K L M N O P	A B C D E F G	A B C	A B C D E F G H I J K L M N O P	A B C D E F G H I J K L	FCA FCO PFIS MI	A B C D E F G	A B C
Incidentes	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Acc c/I	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Acc s/I	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Resultado	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

Tabla de Observaciones de Actos Inseguros (1990-1995)

[illegible]	90	[illegible]	92	[illegible]	[illegible]	95	
0	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
1	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
3	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
4	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
5	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
6	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
7	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
							[illegible]

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Es importante analizar si los supervisores o encargados de generar el reporte de Accidente / Incidente se encuentran capacitados para ese trabajo y si se realizaron reportes de forma continua. Esto asegurara que los datos obtenidos son estadísticamente útiles.

CALCULO DE LA TASA PROMEDIO DE ACCIDENTES / INCIDENTES MENSUAL (λ)

Además del número de eventos o accidentes / incidentes que han sucedido (*x*) y el número específico de la muestra (observación) para cada evento (*n*), se requiere otra de las variables que se necesita calcular para obtener la Distribución de Poison, y es la tasa de accidentes / incidentes mensual (λ), la cual la podremos calcular en base a los valores obtenidos en la tabla de observaciones es decir, los valores de *x* y *n* para lo cual aplicamos la siguiente ecuación:

$$\lambda = \sum_{i=0}^{x} \frac{(x_i * n_i)}{n}$$

Utilizando los valores del ejemplo obtenido, los sustituimos en la ecuación anterior obteniendo,

$$\lambda = \sum_{i=0}^{7} \frac{(x_i * n_i)}{n}$$

$$\lambda = \frac{[(0*25)+(1*30)+(3*5)+(4*0)+(5*1)+(6*0)+(7*1)]}{72}$$

$$\lambda = \frac{77}{72} = 1.07$$

Este valor nos representa la tasa promedio de ocurrencia de accidentes / incidentes (λ) mensualmente, es decir, el promedio mensual de Actos Inseguros del tipo No llamar la atención o asegurar, que pueda provocar u ocasionar un Incidente.

CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN DE POISON

Con los datos resultantes de los cálculos y tablas anteriores, ya podremos aplicar la ecuación típica de la Distribución de Poison, es decir, la probabilidad acumulada (Poison acumulada) como la de cada caso (Poison individual):

$$p(x) = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$$

sustituyendo nos queda,

$$p(0) = \frac{1.07^0}{0!} e^{-1.07}$$

$$p(0) = 0.3432$$

$$p(1) = \frac{1.07^1}{1!} e^{-1.07}$$

$$p(1) = 0.3670$$

$$p(2) = \frac{1.07^2}{2!} e^{-1.07}$$

$$p(2) = 0.1963$$

$$p(3) = \frac{1.07^3}{3!} e^{-1.07}$$

$$p(3) = 0.070$$

$$p(4) = \frac{1.07^4}{4!} e^{-1.07}$$

$$p(4) = 0.0187$$

$$p(5) = \frac{1.07^5}{5!} e^{-1.07}$$

$$p(5) = 0.0040$$

$$p(6) = \frac{1.07^6}{6!} e^{-1.07}$$

$$p(6) = 0.0007$$

$$p(7) = \frac{1.07^7}{7!} e^{1.07}$$

$$p(7) = 0.0001$$

Los resultados de los cálculos de la Distribución de Poison son las probabilidades de cada evento (Poison individual) de que haya Actos Inseguros del tipo No llamar la atención o asegurar que pueda provocar u ocasionar un Incidente.

LA PRUEBA JI-CUADRADA χi^2

VALOR ESPERADO

Para poder aplicar la prueba de Ji-Cuadrada, necesitamos conocer el ***valor esperado***, el cual a manera de ejemplo se puede explicar. Supóngase que se observan $n = 100$ meses en una muestra, sabiendo que la probabilidad de ocurrencia, $\boldsymbol{p}$, de accidentes es de 0.1. ¿Cuántos accidentes se esperarían que ocurrieran?, aplicando el conocimiento del experimento multinomial, podríamos calcular:

$$E(n_1) = n * p_1 = (100)(0.1) = 10$$

De la misma manera, el número esperado de accidentes que pueden seguir ocurriendo se podrán calcular mediante la ecuación:

$$E(n_i) = n * p_i, \text{ donde } i = 1, 2, \ldots, k$$

Ahora, supóngase que proponemos valores para $\boldsymbol{p_1, p_2, \ldots, p_k}$ y que calculamos el valor esperado para cada celda. Ciertamente, si nuestra hipótesis es verdadera, los conteos $\boldsymbol{n_i}$ de las celdas no deberían desviarse mucho de sus valores esperados n*pi (i=1, 2, ...k). Por lo tanto, parecería lógico utilizar un estadístico de prueba que implicara las $\boldsymbol{k}$ desviaciones,

$$n_i - n^*p_i,\ i = 1, 2, \ldots k$$

PRUEBA JI CUADRADA χi^2

En 1900 Karl Pearson propuso el siguiente estadístico de prueba, que es una función de los cuadrados de las desviaciones de los números observados con respecto a sus valores esperados ponderados por el recíproco de sus valores esperados:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - E(n_i))^2}{E(n_i)} = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

Se puede demostrar que χi^2 tendrá aproximadamente una distribución de probabilidad χi^2 en un muestreo repetitivo, para n grande. Podemos demostrar fácilmente este resultado para el caso de $k = 2$. Si $k = 2$, entonces $n_2 = n - n_1$ y $p_1 + p_2 = 1$. Por lo tanto:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{2} \frac{(n_i - E(n_i))^2}{E(n_i)} = \frac{(n_1 - np_1)^2}{np_1} + \frac{(n_2 - np_2)^2}{np_2}$$

$$X^2 = \frac{(n_1 - np_1)^2}{np_1(1 - p_1)}$$

Como se observa tiene aproximadamente una distribución normal estándar para n grande. Así, para n grande, la X^2 antes indicada, es aproximadamente una variable aleatoria χi^2 con un grado de libertad. Hay que recordar que el cuadrado de una variable aleatoria normal estándar tiene una distribución χi^2.

La experiencia ha demostrado que los conteos n_i de las celdas no deberían ser demasiado pequeños, para que la distribución Ji-Cuadrada proporcione una aproximación adecuada a la distribución χi^2. Como una regla empírica requerimos que todos los conteos esperados de las celdas sean iguales o mayores que cinco, aunque Cochran[3] ha observado que este valor puede ser tan pequeño como 1, en ciertos casos.

Se recordará el uso de la distribución de probabilidad Ji-Cuadrada para probar una hipótesis referente a una varianza poblacional, σ^2. En particular, afirmamos que la forma de la distribución Ji-Cuadrada variará según el número de grados de libertad asociados s^2, por lo que sería conveniente explicar la siguiente tabla, que presenta los valores críticos de χi^2 que corresponden a varias áreas de la cola superior (derecha) de la distribución. Por lo tanto, necesitamos, saber que distribución χi^2 utilizar (es decir, el número de grados de libertad) al aproximar la distribución de X^2, deberíamos saber si hay que utilizar una prueba de una o dos colas para localizar la región de rechazo. Éste último problema se puede resolver directamente.

G.L.	χi^2 **0.100**	χi^2 **0.050**	χi^2 **0.025**	χi^2 **0.010**	χi^2 **0.005**
1	2.70554	3.84146	5.02389	6.63490	7.87944
2	4.60517	5.99147	7.37776	9.21034	10.5966
3	6.25139	7.81473	9.34840	11.3449	12.8381
4	7.77944	9.48773	11.1433	13.2767	14.8602
5	9.23635	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496
6	10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5476
7	12.0170	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777
8	13.3616	15.5073	17.5346	20.0902	21.9550
9	14.6837	16.9190	19.0228	21.6660	23.5893
10	15.9871	18.3070	20.4831	23.2093	25.1882

G.L. es grados de libertad[4]

Dado que desviaciones grandes de los conteos observados de las celdas con respecto a los valores esperados, tienden a contradecir la hipótesis nula respecto de las probabilidades ***p1, p2,... pk,*** de las celdas, rechazaremos la hipótesis nula cuando X^2 sea grande y utilizaremos una prueba estadística de una sola cola, al utilizar los valores de la cola superior de χi^2 para localizar la región de rechazo.

GRADOS DE LIBERTAD

La determinación del número adecuado de grados de libertad para la prueba puede ser bastante difícil. Además, indicaremos el principio utilizado (que es fundamental para la demostración matemática de la aproximación) para que se entienda la razón por la cual el número de grados de libertad cambia en las diversas aplicaciones.

El principio establece que el número apropiado de grados de libertad es igual al número de celdas ***k,*** menos un grado de libertad por cada restricción lineal independiente impuesta sobre los conteos observados de las celdas. Por ejemplo, una restricción lineal siempre está presente porque la suma total de los conteos de las celdas tiene que ser igual a ***n;*** es decir,

$$n1 + n2 + n3 + \ldots.. + nk = n$$

Se introducirán otras restricciones en algunas aplicaciones debido a la necesidad de estimar parámetros desconocidos que se requieren para calcular las frecuencias esperadas en cada celda o debido al método de recolección de la muestra.

Cuando hay que estimar parámetros desconocidos para calcular X^2, debe emplearse un estimador de certeza. Los grados de libertad para la aproximación por una distribución Ji-Cuadrada se reducirán en uno por cada parámetro que hay que estimar.

CALCULO DEL VALOR ESPERADO (E)

Ahora necesitamos calcular el valor esperado (E), para lo cual necesitamos el número específico de la muestra (observación) para cada evento (n) y la probabilidad de cada evento o accidente / incidente (Poison) debido a que es una variable que se necesita para la prueba de Ji-Cuadrada (χi^2). Por lo tanto utilizamos la ecuación siguiente:

$$E(n_i)=n\ p_i$$

sustituyendo los valores, tenemos

$$E(25)=72*0.3432$$

$$E(25)=24.7103$$

$$E(30)=72*0.3670$$

$$E(30)=\ 26.4263$$

$$E(10)=72*0.1963$$

$$E(10)=14.1307$$

$$E(5)=72*5.0373$$

$$E(5)=4.5376$$

$$E(0)=72*0.0187$$

$$E(0)=\ 1.3468$$

$$E(1)=72*0.0040$$

$$E(1)=0.2881$$

$$E(0)=72*0.0007$$

$$E(0)=0.0513$$

$$E(1)=72*0.0001$$

$$E(1)=0.01$$

Debido a que el valor esperado (E) en el accidente / incidente 5,6 y 7 no cumple con una de las reglas de la Distribución de Poison, es decir, el valor esperado no debe ser menor a 1 o como mínimo debería de ser 5 o más, aunque en algunos casos lo podremos aceptar si valor es mayor a 1[5], además la Ji -Cuadrada (Xi^2) se dispara, esto lo vemos claramente en la tabla de resultados ya que existe mucha dispersión de datos entre el accidente / incidente 0 y el accidente / incidente 7.

Por lo tanto se realiza una simplificación, es decir, se agrupan todos aquellos accidentes / incidentes que tengan una muestra n pequeña en un sólo accidente / incidente, con la finalidad de que no exista tanta dispersión de los datos, por lo que se acomodan los datos observados quedando de la siguiente forma:

x	n
0	25
1	30
2	10
3	5
4	2
Total:	72

Quedando λ = 1.01 y realizando nuevamente el cálculo de la probabilidad y del valor esperado nos queda la siguiente tabla de resultados:

x	n	$x_i * n_i$	Poison acumulada	Poison individual	Esperada
0	25	0	0.3628	0.3628	26.1220
1	30	30	0.7306	0.3678	26.4848
2	10	20	0.9171	0.1865	13.4263
3	5	15	0.9801	0.0630	4.5376
4	2	0	0.9961	0.0160	1.1502
	72		$\lambda = 1.01$		

Como se pudo observar en la tabla anterior, existen dos columnas con el cálculo de la Distribución de Poison, esto es, en el caso de Poison acumulada es la probabilidad acumulada, mientras que Poison, es la probabilidad en cada caso, explicándose de la siguiente manera:

x	n	$x_i * n_i$	Poison acumulada	Poison individual	Esperada
0	25	0	0.3628	0.3628	26.1220

Esto es, la Poison individual = 0.3628, es la probabilidad de que no haya (porque x=0) Actos Inseguros del tipo No llamar la atención o asegurar que pueda provocar u ocasionar un Incidente.

Hay que recordar que esta serie de valores son intermediarios para realizar la comprobación, es decir, la Prueba Ji-Cuadrada (X^2).

CÁLCULO DE LA PRUEBA JI CUADRADA (x^2)

En base al resultado del valor esperado (E) y al número específico de la muestra (observación) para cada evento (n), podremos conocer el valor de la Prueba Ji-Cuadrada (X^2) mediante la siguiente ecuación:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - E(n_i))^2}{E(n_i)}$$

Sustituyendo obtenemos,

$$X^2 = \sum_{i=0}^{4} \frac{(n_i - E(n_i))^2}{E(n_i)}$$

$$X^2 = \left[\frac{(25-26.1220)^2}{26.1220} + \frac{(30-26.4848)^2}{26.4848} + \frac{(10-13.4263)^2}{13.4263} + \frac{(5-4.5376)^2}{4.5376} + \frac{(2-1.1502)^2}{1.1502}\right]$$

C

$$X^2 = 2.0642$$

Este resultado es la comprobación, que tendremos que comparar con el resultado de las tablas críticas de χi^2 (ver tabla en PRUEBA JI cuadrada) para llegar a la conclusión de aceptar o rechazar si los datos se aplican a una Distribución de Poison.

OBTENCIÓN DE LOS GRADOS DE LIBERTAD

Para poder comparar el valor real con el teórico (tablas), necesitamos obtener el número de grados de libertad (GL), para lo cual necesitamos el número total de celdas (k) y el número de restricciones lineales independientes; ya que este nos dará la pauta de comparación, es decir, el valor real contra qué valor de tablas se tendrá que comparar, por lo tanto la ecuación que nos dará los grados de libertad (GL) es:

$$GL = (k - 2)$$

Sustituyendo los valores tenemos,

$$GL = (5-2)$$

$$GL = 3$$

COMPARACIÓN ENTRE EL VALOR TEÓRICO[4] Y EL REAL

Una vez teniendo el punto de comparación, se compara el valor real contra el teórico, esto es, si el valor real es menor que el teórico se acepta, es decir, los datos se ajustan a una Distribución de Poison, pero si el valor real es mayor al teórico se rechaza, siendo que los datos no se ajustan a una Distribución de Poison.

GL	χi^2 (teórico) a 0.005[4]	χi^2 (real)
3	12.8381	2.0642

Como podemos ver en la tabla anterior, el valor real es menor que el teórico, por lo que no rechazamos. Los datos no presentan suficiente evidencia para contradecir la hipótesis de que esta serie de valores posee una Distribución de Poison.

En la siguiente página se resumen todos los pasos seguidos con los valores obtenidos.

APLICACIÓN DE LA DISTRIBUCION DE POISON Y LA PRUEBA JI-CUADRADA

x	1990	1991	1992	1993	1994	1995	*ni*	n total	(x*n)		suma (x*n)	tasa promedio λ lambda	lambda^x	factorial x
0	6	8	3	6	1	1	25	72	0		73	1.01	1	1
1	1	3	5	5	9	7	30	72	30			1.01	1.01	1
2	3	1	2		1	3	10	72	20			1.01	1.0201	2
3	1	0	2		1	1	5	72	15			1.01	1.030301	6
4	0	0	0			0	2	72	8			1.01	1.040604	24

n total = 72

Concluyendo de las tablas, obtenemos las siguientes probabilidades:

De no tener ningún acto inseguro del tipo No asegurar:	36.42%
De tener 1 acto inseguro del tipo No asegurar:	36.78%
De tener 2 actos inseguros del tipo No asegurar:	18.57%
De tener 3 actos inseguros del tipo No asegurar:	6.25%
De tener 4 o más actos inseguros del tipo No asegurar:	1.98%

exp (lambda)	poison (probabilidad)	acumulada	Valor Esperado E(ni)=n * pi		PRUEBA CHI
0.36421898	0.36421898	0.36421898	26.22376653		0.057108673
0.36421898	0.367861169	0.732080149	26.48600419		0.466214776
0.36421898	0.185769891	0.917850039	13.37543212		0.851826086
0.36421898	0.06254253	0.980392569	4.503062146		0.054839845
0.36421898	0.015791989	0.996184558	1.137023192		0.654981338

Xi 2 (real)	GRADOS (filas - 2)	Xi 2 (teórico) por tabla
2.0849707	3	12.8381

COMO EL VALOR REAL ES MENOR AL TEORICO SE ACEPTA, POR LO CUAL, ESTOS DATOS SI SE AJUSTAN A UNA DISTRIBUCION DE POISON

RESUMEN DE PASOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE ACTOS INSEGUROS Y CONDICIONES INSEGURAS, MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE POISON Y JI CUADRADA".

DIAGRAMA DE FLUJO

RECOLECCIÓN DE DATOS

1. Revisar los Reportes de Accidentes / incidentes de la empresa.
2. Capturar los datos de los reportes de Accidentes e Incidentes en una tabla donde se puedan analizar.
3. Decidir cual es la probabilidad que queremos calcular.
4. Generar una Tabla de Observaciones en donde se muestre en las columnas el número de mes y el año y en las filas el valor x, es decir el número de eventos. En las celdas se colocará el valor con el que se desee trabajar.

↓

CALCULO DE LA TASA PROMEDIO DE ACCIDENTES / INCIDENTES MENSUAL (λ)

Calcular la tasa de accidentes / incidentes mensual (λ) con los valores obtenidos en la tabla de observaciones, con la siguiente ecuación:

$$\lambda = \sum_{i=0}^{x} \frac{(x_i * n_i)}{n}$$

Donde:

λ Representa la tasa promedio de ocurrencia de accidentes / incidentes.
x Número de eventos o accidentes / incidentes que han sucedido.
x_i Número específico de accidentes / incidentes (0, 1, 2, 3, 4...).
n Número total de eventos.
n_i Número de eventos específicos para el Número específico de accidentes.

↓

CÁLCULO DE LA DISTRIBUCIÓN DE POISON

Aplicar la ecuación típica de la Distribución de Poison y calcular la probabilidad acumulada (Poison acumulada) y la de cada caso (Poison individual). Se utilizará la fórmula:

$$p(x) = \frac{\lambda^{x}}{x!} e^{-\lambda}$$

Donde:

p(x) *Probabilidad de Poison individual. La suma será la Poison acumulada.*
λ Representa la tasa promedio de ocurrencia de accidentes / incidentes.
x Número de eventos o accidentes / incidentes que han sucedido.

↓

CALCULAR EL VALOR ESPERADO

El número esperado de accidentes que pueden seguir ocurriendo se podrán calcular mediante la ecuación:

$$E(n_i) = n * p_i$$

Donde:

n Número total de eventos.
ni Número de eventos específicos para el Número específico de accidentes.
I Contador relacionado a cada uno de las *x* específicas.

↓

CALCULAR LA PRUEBA JI CUADRADA χi^2

Se aplicará el siguiente estadístico de prueba:

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - E(n_i))^2}{E(n_i)} = \sum_{i=1}^{k} \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$$

Donde:

- ***k*** Contador relacionado a cada uno de las *n* específicas.
- ***n_i*** Número de eventos específicos para el Número específico de accidentes.
- ***p_i*** Probabilidad de Poison individual.
- ***$E(n_i)$*** Valor esperado, especifico para cada n_i.

Este valor será la χi^2 Real.

DETERMINAR LOS GRADOS DE LIBERTAD

Para poder comparar el valor real con el teórico (tablas), necesitamos obtener el número de grados de libertad (GL), para lo cual necesitamos el número total de celdas (k) y el número de restricciones lineales independientes. La fórmula es:

$GL = (k - 2)$

COMPARAR EL VALOR TEÓRICO Y EL REAL

Comparar el valor real contra el teórico. Si el valor real es menor que el teórico se acepta, es decir, los datos se ajustan a una Distribución de Poison, pero si el valor real es mayor al teórico se rechaza.

Los valores teóricos se obtienen de la siguiente tabla. Utilizar valores de 0.005.

G.L.	χi^2 **0.100**	χi^2 **0.050**	χi^2 **0.025**	χi^2 **0.010**	χi^2 **0.005**
1	2.70554	3.84146	5.02389	6.63490	7.87944
2	4.60517	5.99147	7.37776	9.21034	10.5966
3	6.25139	7.81473	9.34840	11.3449	12.8381
4	7.77944	9.48773	11.1433	13.2767	14.8602
5	9.23635	11.0705	12.8325	15.0863	16.7496
6	10.6446	12.5916	14.4494	16.8119	18.5476
7	12.0170	14.0671	16.0128	18.4753	20.2777
8	13.3616	15.5073	17.5346	20.0902	21.9550
9	14.6837	16.9190	19.0228	21.6660	23.5893
10	15.9871	18.3070	20.4831	23.2093	25.1882

G.L. es grados de libertad[4]

DISCUSIÓN

Se realizará el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de actos inseguros y condiciones inseguras, mediante la metodología de Poison y Ji cuadrada, de valores proporcionados por el asesor.

Estos valores se obtuvieron en una planta química industrial y se presentan aquí.

[illegible]	1999 1er	1999 2do	1999 TOTAL	2000 1er	2000 2do	2000 TOTAL	2001 1er	2001 2do	2001 TOTAL
[illegible]	3	15	18	9	10	19	15	15	[illegible]
[illegible]	148	315	[illegible]	[illegible]	218	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1311	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]									
15 [illegible]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16 [illegible]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 [illegible]	0	0	0	1	0	1	2	0	2
10 [illegible]	1	0	1	0	0	0	2	0	2
6 [illegible]	1	0	1	1	0	1	0	0	0
11 [illegible]	2	0	2	1	0	1	2	0	2
14 [illegible]	2	0	2	2	0	2	1	0	1
1 [illegible]	2	0	2	5	0	5	3	0	3
7 [illegible]	4	0	4	3	0	3	6	0	6
12 [illegible]	5	0	5	1	0	1	3	0	3
4 [illegible]	5	0	5	5	0	5	7	0	7
13 [illegible]	5	0	5	6	0	6	4	0	4
8 [illegible]	6	0	6	6	0	6	7	0	7
9 [illegible]	8	0	8	7	0	7	9	0	9
3 [illegible]	8	0	8	10	0	10	12	0	12
2 [illegible]	11	0	11	11	0	11	10	0	10
CONDICIONES INSEGURAS									
10 [illegible]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 [illegible]	0	0	0	0	0	0	1	0	1
12 [illegible]	1	0	1	1	0	1	1	0	1
13 [illegible]	1	0	1	1	0	1	2	0	2
11 [illegible]	1	0	1	2	0	2	1	0	1
6 [illegible]	1	0	1	2	0	2	2	0	2
8 [illegible]	2	0	2	1	0	1	2	0	2
2 [illegible]	3	0	3	4	0	4	3	0	3
5 [illegible]	7	0	7	4	0	4	8	0	8
4 [illegible]	8	0	8	6	0	6	6	0	6
1 [illegible]	10	0	10	13	0	13	11	0	11
3 [illegible]	12	0	12	14	0	14	13	0	13
7 [illegible]	15	0	15	9	0	9	13	0	13
[illegible]									
1 [illegible]	2	0	2	3	0	3	5	0	5
4 [illegible]	7	0	7	6	0	6	8	0	8
3 [illegible]	9	0	9	11	0	11	11	0	11
2 [illegible]	12	0	12	13	0	13	13	0	13
5 [illegible]	13	0	13	14	0	14	14	0	14
FACTORES DE TRABAJO									
[illegible]	1	0	1	1	0	1	2	0	2
[illegible]	2	0	2	5	0	5	6	0	6
[illegible]	3	0	3	5	0	5	5	0	5
[illegible]	7	0	7	3	0	3	8	0	8
[illegible]	9	0	9	5	0	5	9	0	9
[illegible]	10	0	10	6	0	6	10	0	10
[illegible]	11	0	11	12	0	12	11	0	11
[illegible]	13	0	13	13	0	13	11	0	11
[illegible]									
[illegible]	3	0	3	3	0	3	4	0	4
[illegible]	4	0	4	5	0	5	10	0	10
[illegible]	5	0	5	10	0	10	9	0	9
[illegible]	7	0	7	14	0	14	15	0	15
[illegible]	11	0	11	15	0	15	16	0	16
[illegible]	15	0	15	16	0	16	15	0	15

Tendremos que analizar estos valores y seguir el diagrama de flujo propuesto en la sección anterior.

1. Recolección de datos

Los datos presentados en la tabla proporcionada no corresponden con la forma de recolección necesaria para poder trabajar con ellos en esta metodología.

Se deberán revisar nuevamente todos los Reportes de Accidentes / incidentes y desarrollar una tabla mensual, en donde se pueda determinar para el caso de 0 Accidentes / incidentes en cuantos meses se presento, para el caso de 1 Accidente / incidente en cuantos meses se presentó, etc.

La tabla proporcionada solo específica el número total de eventos para 1 solo semestre.

Por lo tanto, no se puede trabajar con los presentes datos, refiriendo la necesidad de realizar la recolección de datos de forma adecuada.

CONCLUSIONES

En la Introducción, la hipótesis planteaba trabajar de forma adecuada con los datos proporcionados, siempre y cuando estos se presentaran en un formato que permitiera analizarlos y procesarlos.

Siguiendo el capítulo de Información General del Tema y el de Discusión, concluimos, que la hipótesis es cierta, ya que al no estar los datos en el formato adecuado, no se les pudo dar el tratamiento matemático adecuado.

Concluimos, que la Metodología de Poison y Ji Cuadrada, es una herramienta muy útil para el cálculo de las probabilidades de ocurrencia de incidentes, accidentes con lesión o accidentes de lesión, ya que estos fenómenos siguen una distribución de Poison y se les puede dar un tratamiento estadístico.

Si se aplica de forma adecuada la metodología planteada en este trabajo, se podrán obtener las probabilidades de ocurrencia de actos y condiciones inseguras que pueden provocar incidentes o accidentes, con lo cual, se podrán tomar medidas de prevención para evitarlos y con ello, evitar pérdidas, en términos de vidas, dinero y tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bird, Frank E., Jr. & Germain, George L. Liderazgo Práctico en el Control de Pérdidas. Institute Publishing, USA. 1985 pp 17-40.
2. Mendenhall, William and etal. Mathematical Statistics with applications. 3ª. Ed. PWS Publishers. Belmont California, USA. 1990. pp. 65,92-96 y 575-581.
3. Cochran, W. G. The χi^2 Test of Goodness of Fit. Annals of Mathematical Statistics. NY, USA. 1952. pp. 315-345.
4. Thomson, Catherine M. Tables of the Percentage Points of χi^2 Distribution. Biometrika. NY, USA 1941. pp. 188-189.
5. Perry, Robert H. PERRY Manual del Ingeniero Químico. Sexta Edición. Mc Graw Hill, México, 1993. pp. 2-88 y 2-89 TOMO 1.
6. Castillo Cuevas, Ernesto Felipe. Influencia del error humano como factor de accidentes en una planta química. Tesis, Universidad Iberomexicana, México,D.F. pp. 91-114