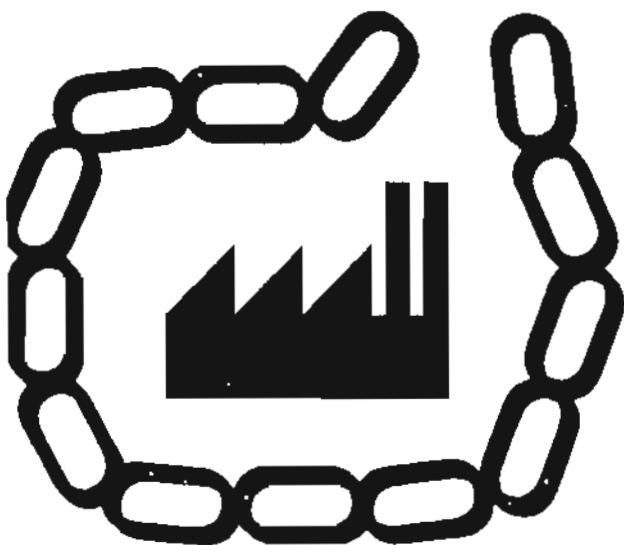


**Jornada
SICUR 96
Madrid 14 de Junio**

LA SEGURIDAD

**Hipótesis Previa y
componente básica de la
GERENCIA DE RIESGOS**

**TECNICAS DE ADMINISTRACION DEL
RIESGO EN LA DECISION TECNICO/ECONOMICA
PARA LA IMPLEMENTACION DE SISTEMAS
DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS**



**D. Mario Ley Pacheco
Ingeniero Civil Industrial
ASOCIACION CHILENA DE SEGURIDAD**



Organiza

en colaboración con:



ASOCIACION CHILENA DE SEGURIDAD

**"TECNICAS DE ADMINISTRACION DEL RIESGO EN LA DECISION
TECNICO/ECONOMICA PARA LA IMPLEMENTACION DE
SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS"**

**AUTOR: MARIO LEY PACHECO
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
M.S. IN FIRE PROTECTION ENGINEERING**

**SANTIAGO - CHILE
JUNIO 1996**

INTRODUCCION

Existen una serie de técnicas para el análisis técnico-económico de implementación de sistemas de protección contra incendios. Para este análisis es fundamental contar con herramientas que permitan cuantificar los beneficios de su implementación con el menor grado de incerteza posible. Una de las herramientas más utilizadas corresponde al método probabilístico del árbol de fallas.

En este trabajo se describe el procedimiento de análisis, incluyendo la forma de construcción del árbol de fallas.

El procedimiento de análisis se aplica a un caso específico; analizando varias alternativas de mejoramiento de una red de agua contra incendios para una planta determinada.

ARBOL DE FALLAS

A.- CONCEPTOS BASICOS

El árbol de fallas es básicamente un diagrama lógico para analizar un evento no deseado.

El primer paso en la construcción del árbol de fallas es la selección del evento tope no deseado, previo conocimiento del sistema en estudio.

Una vez seleccionado el evento tope, este se descompone en los factores que contribuyen a su ocurrencia. Estos factores representan eventos que a su vez poseen causas y así se van separando hacia abajo en los distintos eventos que concurren para provocarlos hasta llegar a los eventos más simples.

Este proceso lógico se continúa hasta que todas las causas potenciales han sido identificadas. A través de este proceso se usa el diagrama de árbol para indicar los eventos que se han ido identificando. El evento no deseado simula el tronco del árbol.

En la elaboración del Arbol de Fallas se usan símbolos para representar eventos y describir las relaciones lógicas entre ellos. Estos símbolos denominados "puertas lógicas" muestran la forma en la cual los eventos de un nivel del árbol se combinan para producir un evento en el siguiente nivel superior. Los más comúnmente usados son la puerta "Y" y la Puerta "O". En la figura N^o 1 se puede observar un tipo de simbología tanto para los eventos como para sus relaciones lógicas.

La puerta "Y" se usa para representar una condición en la cual todos los eventos ubicados bajo la puerta (eventos de entrada) deben estar presentes para el que está sobre la puerta (evento de salida) pueda ocurrir. Esto es, el evento de salida solo ocurrirá si todos los eventos de entrada existen al mismo tiempo.

Por ejemplo, los componentes del triángulo del fuego (ver figura N^o 2) pueden diagramarse como eventos de entrada a una puerta "Y". Para que el fuego se produzca, todos los componentes (T^o, combustible y oxígeno) deben existir simultáneamente.

La puerta "O" representa una situación en la que cualquiera de los eventos bajo la puerta lógica (eventos de entrada) provocará el evento sobre la puerta lógica (evento de salida). El evento de salida ocurrirá si solo uno o una combinación de los eventos de entrada ocurra.

Por ejemplo la no disponibilidad de agua de una red húmeda (ver figura Nº 3) puede producirse porque el estanque de suministro de agua está vacío o porque la bomba impulsora está fuera de servicio.

El procedimiento de análisis mediante esta técnica incluye los siguientes pasos:

- 1º Adquirir un conocimiento del proceso o sistema que se va a analizar.
- 2º Definir el evento no deseado que se va a estudiar.
- 3º Construir el árbol de fallas.
- 4º Evaluar el árbol de fallas.
- 5º Analizar alternativas desde el punto de vista probabilístico.
- 6º Analizar alternativas desde el punto de vista económico.

Para evaluar el árbol de fallas se calculan las probabilidades de ocurrencia de los eventos, tomados como normales e independientes. Tal probabilidad se basa en test de resultados, experiencia, información publicada o juicio profesional. De estas probabilidades de eventos simples se va calculando la probabilidad del evento superior de salida. El proceso de evaluación se continúa hasta la cúspide del árbol.

Considerando eventos independientes, la probabilidad para las puertas "O" e "Y" se determinan mediante las siguientes expresiones:

PUERTA "O"

$$P(e_1 \vee e_2 \dots \vee e_n) = 1 - [1 - P(e_1)] [1 - P(e_2)] \dots [1 - P(e_n)]$$

PUERTA "Y"

$$P(e_1 \wedge e_2 \dots \wedge e_n) = P(e_1) \cdot P(e_2) \dots P(e_n)$$

Una vez evaluado el árbol de fallas se pueden identificar los eventos que deben ser controlados para reducir la probabilidad de ocurrencia del evento tope no deseado. Mediante el árbol de fallas se puede hacer un análisis de diversas alternativas que permitirán tomar la decisión más óptima para controlar el riesgo que se está estudiando, calculando la probabilidad del evento tope no deseado para cada una de ellas. La mejor alternativa será la que obtenga la probabilidad más baja de ocurrencia del evento tope.

Finalmente se debe efectuar el análisis Costo/Beneficio de las diversas alternativas para la decisión final.

B.- EJEMPLO DE APLICACION ARBOL DE FALLAS

Para ilustrar el uso del árbol de fallas se desarrollará el siguiente ejemplo:

Una empresa posee el sistema de alimentación de agua para su sistema de protección contra incendios que se indica en la figura Nº 4. Actualmente se cuenta con una bomba eléctrica conectada a la red pública de electricidad y una bomba DIESEL con un estanque de 1200 m³ que alimenta una red húmeda y una red de rociadores o "sprinklers". El actual sistema no está conectado a la red pública de agua.

Para modificar el actual sistema se proponen 3 alternativas:

ALTERNATIVA 1: Instalar una nueva subestación eléctrica que alimente la actual bomba de incendios (eléctrica).

ALTERNATIVA 2: Instalar una conexión adicional a la red pública de agua.

ALTERNATIVA 3: Instalar un nuevo estanque de alimentación de agua con su respectiva bomba DIESEL.

Se pide analizar la no disponibilidad de agua para el actual sistema y considerando las 3 alternativas propuestas.

DATOS:

PROB. FALLA ALIMENTACION ELECTRICIDAD RED PUBLICA	: 0.019
PROB. FALLA TRANSFORMADORES	: 0.200 (Situación Actual)
	: 0.010 (Alternativa 1)
PROB. FALLA EN LA PARTIDA BOMBA ELECTRICA	: 0.001
PROB. FALLA SWITCH PRESION	: 0.131
PROB. FALLA EN LA PARTIDA BOMBA DIESEL	: 0.006
PROB. NO DISPONIBILIDAD DE AGUA EN ESTANQUE	: 0.0075
PROB. FALTA DE AGUA EN RED PUBLICA	: 0.001

SOLUCION:

Una vez adquirido el conocimiento del sistema se define el evento tope no deseado. En este caso el evento tope no deseado es la NO DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA LOS SISTEMAS DE PROTECCION.

El próximo paso es construir el árbol de fallas (ver figura Nº 5) que incluye todos los factores que contribuyen a la ocurrencia del evento, tanto para el actual sistema como para las diferentes alternativas identificando cada evento con un número.

Los diferentes eventos se indican a continuación:

Nº EVENTO	DESCRIPCION	PROB.
14	No disponibilidad de agua para los sistemas de protección	q14
13	Falla en alimentación de agua a las bombas	q13
12	Falla en las bombas	q12
11	Falta de agua en la red pública	q11
10	No disponibilidad de agua en estanque de suministro	q10
9	Falla en bombas diesel	q9
8	Falla en bomba eléctrica	q8
7	Falla en partida de bombas diesel	q7
6	Falla en partida de la bomba diesel	q6
5	Falla en switch de presión de bomba	q5
4	Falla en partida de bomba eléctrica	q4
3	Falla en la alimentación eléctrica a la bomba.	q3
2	Falla en la alimentación eléctrica desde los transformadores.	q2
1	Falla en alimentación eléctrica externa	q1

Para la evaluación del árbol de fallas a cada evento se asigna la probabilidad q_i ($i = 1$ a 14). La evaluación del árbol de fallas comienza una vez conocidas las probabilidades de los eventos más simples, es decir en las ramas inferiores, para luego ir avanzando hacia el tope del árbol.

De los Datos del Problema:

$q_1 = 0.019$
 $q_2 \begin{cases} = 0.20 \text{ (Alternativa 0)} \\ = 0.01 \text{ (Alternativa 1)} \end{cases}$
 $q_4 = 0.001$
 $q_5 = 0.131$
 $q_6 = 0.006$
 $q_{10} = 0.0075$
 $q_{11} = 0.001$

Los cálculos de probabilidades para cada alternativa, se indican a continuación:

CALCULO DE PROBABILIDADES
PARA LAS 4 ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA 0

$$q_3 = 1 - (1 - q_1) (1 - q_2) = 1 - (1 - 0.019) (1 - 0.2) = 0.215$$

$$q_8 = 1 - (1 - q_3) (1 - q_4) (1 - q_5) = 1 - (1 - 0.215) (1 - 0.001) (1 - 0.131) = 0.319$$

$$q_7 = q_6 = 0.006$$

$$q_9 = 1 - (1 - q_5) (1 - q_7) = 1 - (1 - 0.131) (1 - 0.006) = 0.136$$

$$q_{12} = q_8 \cdot q_9 = 0.319 \times 0.136 = 0.043$$

$$q_{13} = q_{10} = 0.0075$$

$$q_{14} = 1 - (1 - q_{12}) (1 - q_{13}) = 1 - (1 - 0.043) (1 - 0.0075) = 0.051$$

ALTERNATIVA 1

$$q_{3(1)} = 1 - (1 - q_1) (1 - q_{2(1)}) = 1 - (1 - 0.019) (1 - 0.01) = 0.029$$

$$q_{8(1)} = 1 - (1 - q_{3(1)}) (1 - q_4) (1 - q_5) = 1 - (1 - 0.029) (1 - 0.001) (1 - 0.131) = 0.157$$

$$q_7 = q_6 = 0.006$$

$$q_9 = 0.136$$

$$q_{12(1)} = q_{8(1)} \cdot q_9 = 0.157 \times 0.136 = 0.021$$

$$q_{13} = 0.0075$$

$$q_{14(1)} = 1 - (1 - q_{12(1)}) (1 - q_{13}) = 1 - (1 - 0.021) (1 - 0.0075) = 0.028$$

ALTERNATIVA 2

$$q_{12} = 0.043$$

$$q_{13(2)} = q_{10} \cdot q_{11} = 0.0075 \times 0.001 = 7.5 \times 10^{-6}$$

$$q_{14(2)} = 1 - (1 - q_{12}) (1 - q_{13(2)}) = 1 - (1 - 0.043) (1 - 7.5 \times 10^{-6}) = 0.043$$

ALTERNATIVA 3

$$q_8 = 0.319$$

$$q_7(3) = q_6 \cdot q_6(3) = (0.006)^2 = 3.6 \times 10^{-5}$$

$$q_9(3) = 1 - (1 - q_5) (1 - q_7(3)) = 1 - (1 - 0.017) (1 - 3.6 \times 10^{-5}) = 0.131$$

$$q_{12}(3) = q_8 \cdot q_9(3) = 0.319 \times 0.131 = 0.042$$

$$q_{13}(3) = q_{10} \cdot q_{10}(3) = (0.0075)^2 = 5.63 \times 10^{-5}$$

$$q_{14}(3) = 1 - (1 - q_{12}(3)) (1 - q_{13}(3)) = 1 - (1 - 0.042) (1 - 5.63 \times 10^{-5}) = 0.042$$

CUADRO FINAL DE RESULTADOS

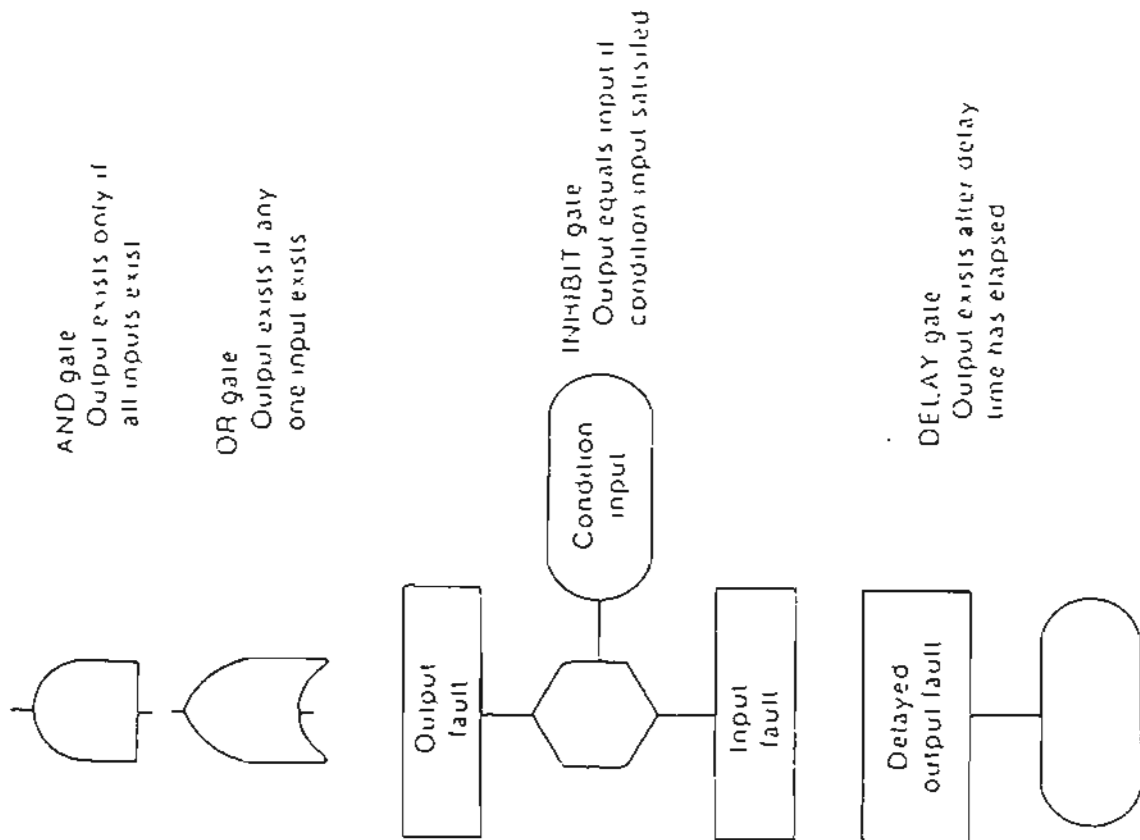
<u>ALTERNATIVA</u>	<u>PROB. NO DISPONIBILIDAD DE AGUA</u>
0	0.051
1	0.028
2	0.043
3	0.042

CONCLUSION:

La mejor alternativa es la 1 ya que la probabilidad de no disponibilidad de agua es la menor. Por lo tanto se debe instalar una nueva subestación eléctrica de acuerdo a estos resultados. Sin embargo, es necesario efectuar el análisis Costo/Beneficio a las diversas alternativas para la decisión final.

FAULT TREE LOGIC AND EVENT SYMBOLS

Logic symbols



Event symbols

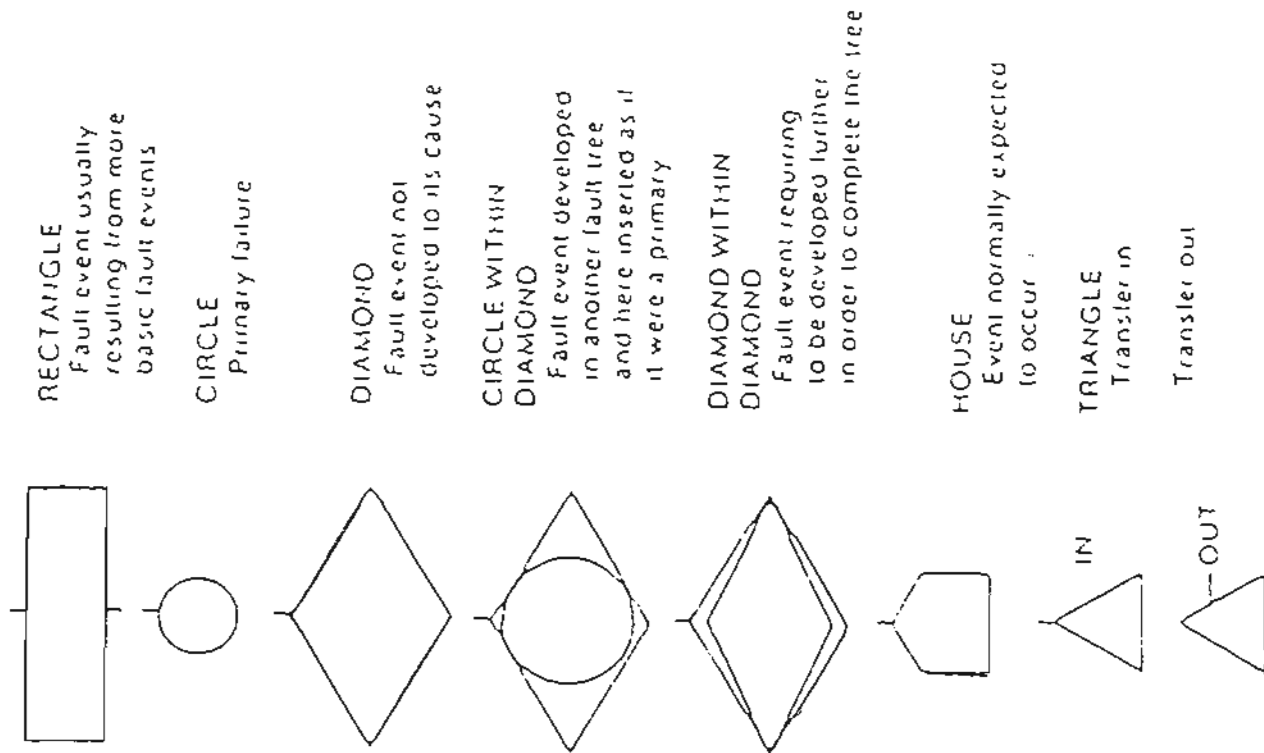


FIGURA Nº 2

EJEMPLO USO PUERTA "Y"

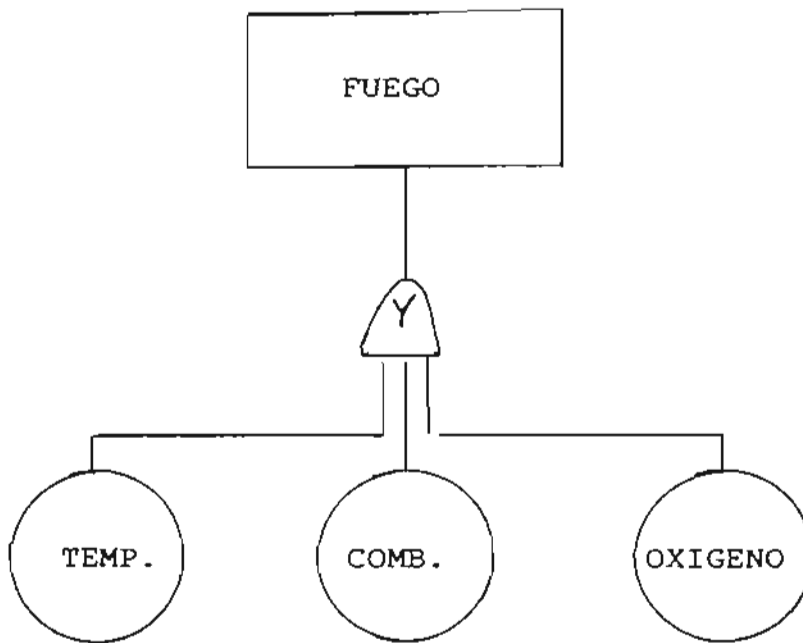


FIGURA Nº 3

EJEMPLO USO PUERTA "O"

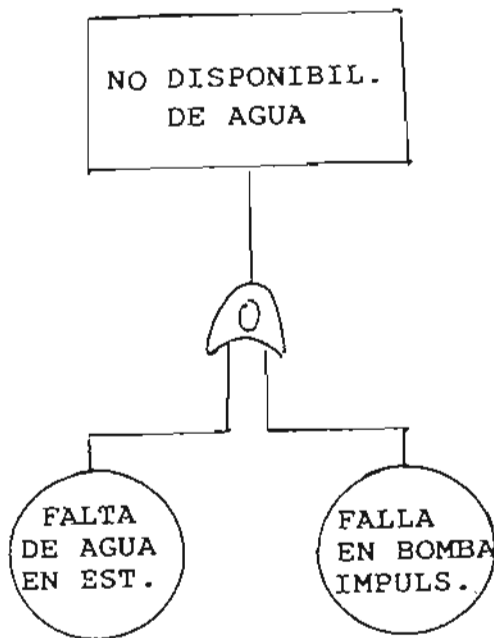


FIGURA Nº 4 : SISTEMA PROTECCION CONTRA INCENDIOS E JEMPLLO

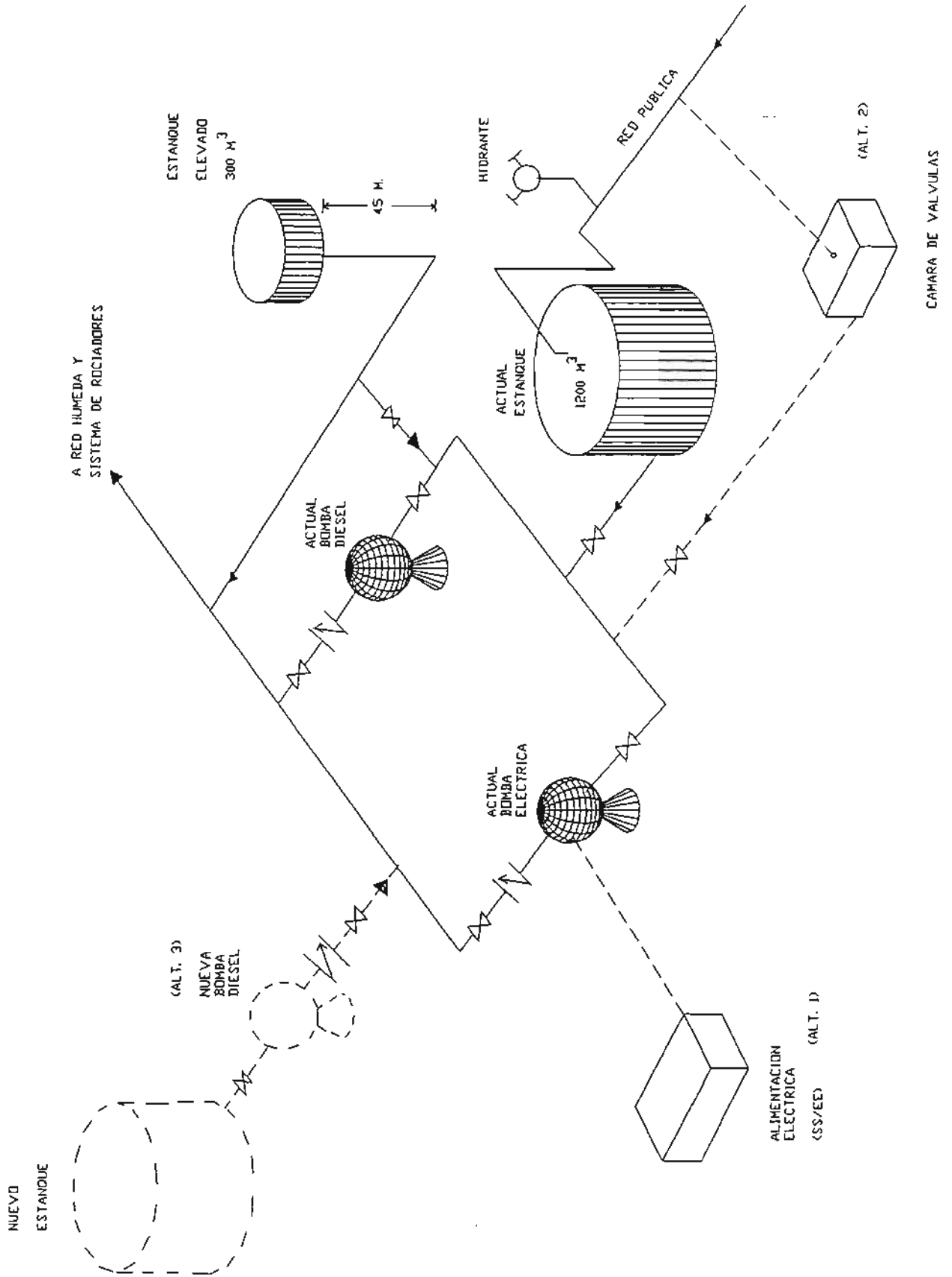
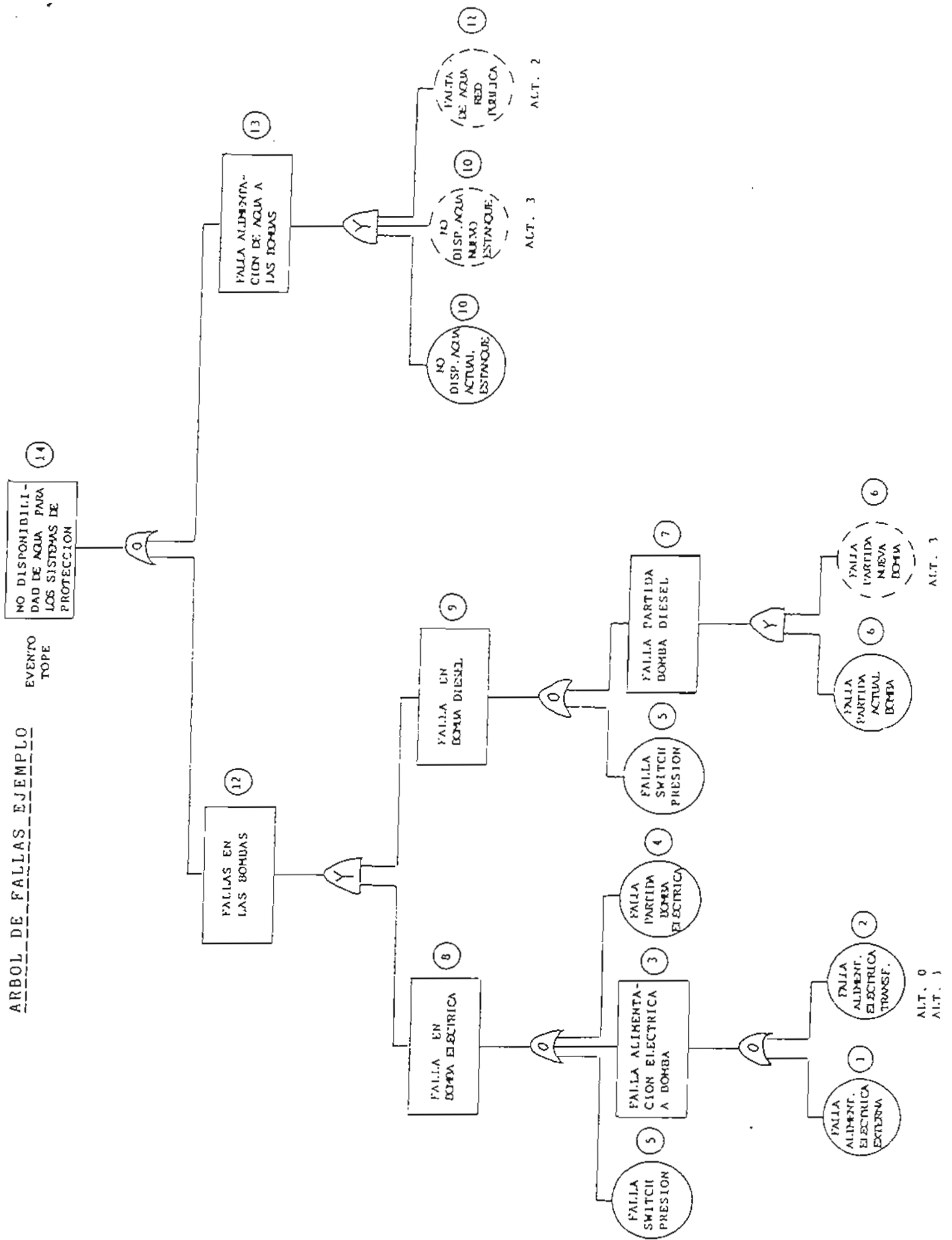


FIGURA N° 5

ARBOL DE FALLAS EJEMPLO



C.- EVALUACION TECNICO-ECONOMICA

Para realizar una evaluación técnico-económica de las alternativas consideradas, puede desarrollarse un análisis de Costo/Beneficio, que corresponde a un método de comparación en el cual las consecuencias de una inversión son evaluadas en términos monetarios.

En el caso de inversiones destinadas a mejoramiento de sistemas de protección contra incendios, los beneficios a obtener se basan en la estimación de reducciones de pérdidas que originarían las medidas a adoptar, en relación a la confiabilidad de los sistemas y a las pérdidas máximas probables.

En el ejemplo analizado se ha considerado que las alternativas de mejoramiento posibilitarían disminuir las pérdidas causadas por un incendio, en relación a la situación actual (Alternativa 0), según los valores que se presentan a continuación, junto con su correspondiente costo de implementación.

ALTERNATIVA	PERDIDA (M US\$)	COSTO IMPLEMENTACION (M US\$)
0	100	-
1	30	400
2	58	10
3	50	150

Para seleccionar la alternativa óptima, desde el punto de vista técnico económico, puede analizarse, para cada alternativa, la diferencia entre su Beneficio Marginal (BM) y su Costo Marginal (CM), así como la razón entre ellos, según se detalla en la tabla siguiente.

ALTERNATIVA	A0	A2	A3	A1
COSTO IMPLEMENTACION (M US\$)	0	10	150	400
PERDIDA (M US\$)	100	58	50	30
COSTO TOTAL (M US\$)	100	68	200	430
BENEFICIO MARGINAL (M US\$)	0	42	8	20
COSTO MARGINAL (M US\$)	0	10	140	250
BM - CM (M US\$)	-	32	(132)	(230)
BM/CM	-	4,2	0,06	0,08

Se aprecia, en primer lugar, que la alternativa 2 es la única que presenta una diferencia positiva en la diferencia de Beneficios y Costos Marginales, además de una razón Beneficio/Costo Marginal mayor que la unidad. En consecuencia, la mejor alternativa es realizar una conexión adicional desde la red pública de agua.

D.- CONCLUSION FINAL

La aplicación del método del Arbol de Fallas, junto con evaluaciones técnico-económicas, corresponde a una valiosa herramienta para la toma de decisiones referentes a implementación y/o mejoramientos en los sistemas de protección contra incendios, minimizando los componentes subjetivos y de incerteza.

Si bien el método es de mediana complejidad para profesionales del área, su aplicación se ve dificultada por la escasa disponibilidad de valores probabilísticos para muchos de los eventos simples involucrados en la operación y confiabilidad de los sistemas de protección contra incendios así como datos históricos referentes a su incidencia en las pérdidas esperadas.