



SERVICIOS DE INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

Tel. 572 315 315 8970, Cali e-mail: rcmingeneria@emcali.net.co

THE CROW – AMSAA – DUANE RELIABILITY GROWTH MODEL

Modelo de crecimiento en Confiabilidad

INTRODUCCIÓN

El análisis de *Crecimiento de la Confiabilidad* fue desarrollado por James T. Duane (1981), para determinar, medir y analizar el cambio los procesos y estrategias del mantenimiento en el mejoramiento de la operación y producción en plantas industriales.

El Modelo CROW AMSAA, es usualmente usado para aplicaciones en plantas de producción, aviones, seguridad, mantenimiento, operaciones, fallas, etc. Tiene la posibilidad de manejar y utilizar datos desviados, omisiones de datos y mezcla de modos de falla.

Es una excelente herramienta para el seguimiento de parámetros que interesan a la Gerencia y el pronóstico de sus futuras ganancias, retorno de la inversión y fallas de los activos.

El crecimiento en Confiabilidad incluye los siguientes beneficios:

1. Gráficas de tendencias que hacen más viable observar el mejoramiento de la confiabilidad y disminución de las fallas.
2. Es un programa para toma de decisión más precisa, focalizando el incremento de la producción en los procesos con estrategias mejorados.
3. Mejoramiento en los programas de los procesos de confiabilidad, mide los efectos del cambio y el mejoramiento en los nuevos diseños.
4. Ayuda a comparar fácilmente los nuevos programas confiabilidad contra otros programas de trabajo, implementando acciones correctivas.

5. Puede medir las Tendencias de confiabilidad a nivel de sistema o componentes con diferentes modos de fallas.
6. Las gráficas de las tendencias Crow AMSAA verificarán la predicción de fallas y costos en la efectividad de las reparaciones realizadas.
7. El aumento de los índices de fallas se pueden determinar por proyecciones de tendencias o pronósticos de fallas en nuevos proyectos de ingeniería.
8. El método puede ser usado para analizar el *Crecimiento de la Confiabilidad* con intervalos de tiempo.

El Crecimiento de la Confiabilidad es el resultado de procesos que incluyen:

1. Detección de fuentes de fallas.
2. Retro alimentación de problemas identificados.
3. Aplicación de rediseños basados en hallazgos de problemas.
4. Fabricación y modificación de cambios de equipos.
5. Verificación de rediseños con nuevas pruebas y procesos de reingeniería.

Estos elementos o procesos requieren un análisis de falla y sistemas de acción correctiva **FRACAS** (Failure Reporting Analysis and Corrective Actino System, MIL-STD-2155).

HISTORIA

Por décadas, en el análisis de la confiabilidad se ha observado que las ratas de fallas ($\lambda = \text{No fallas} / \text{tiempo}$) graficadas, son una línea recta por



SERVICIOS DE INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

Tel. 572 315 315 8970, Cali e-mail: rcmingeneria@emcali.net.co

períodos de tiempo, cuando se grafica en papel logarítmico.

Uno de los pioneros fue James T. Duane, director GE Direct Current Motor. El modelo de Duane fue desarrollado ampliamente por el Dr. Larry H. Crow, mientras trabajaba en el AMSAA (Army Material Systems Analysis Activity), *postulo y patento el EL “ CROWN – AMSAA (C/A) model “* que provee un análisis estadístico del proceso de crecimiento.

El MIL HDBK 189 publicado por el Dr. Larry, es un documento recomendado donde se encuentra la descripción matemática del modelo y sirve para estudiar el proceso RAMS.

SOLUCION GRAFICA DEL MODELO

El modelo de la función para medir una rata de falla instantánea de tiempo acumulativo esta determinado por:

$$p(t) = \lambda \beta t^{\beta-1}$$

El logaritmo de la función de falla acumulativo $n(t)$ vs el tiempo acumulativo logaritmo es una línea recta, entonces :

$$\eta(t) = \lambda t^{\beta}$$

El logaritmo de la función es un línea recta en papel logarítmico:

$$\text{Ln} \eta(t) = \text{Ln} \lambda + \beta \text{Ln} t$$

Para $t = 1$; $\lambda = 0.49$

Interpretación de β :

$\beta = 1$: Rata de falla (λ) constante “proceso homogéneo Poisson”.

$\beta > 1$: La Rata o índice de falla (λ) está incrementando.

$\beta < 1$: La Rata de falla (λ) se está decrecentando o disminuyendo.

El análisis del riesgo y la predicción de fallas son simples, es una extrapolación en la línea recta.

PREDICION DE FALLAS FUTURAS DESDE LA HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

Usando la información de fallas del sistema de gestión de mantenimiento o CMMS (Computer Maintenance Management system) de un sistema en particular, la predicción de fallas pueden ser fácilmente calculadas aunque tengan modos de falla simples o mezclados. La grafica C/A muestra una línea recta que ayuda a la predicción de fallas o futuros eventos.

Cuando se calcula el mejoramiento de una implementación de mantenimiento y con el seguimiento de los ahorros de costos por fallas entre un estrategia de mantenimiento vieja y una nueva, en tiempo y dinero es fácil seleccionar una alternativa usando el método Crown AMSAA (C/A).

El MIL-STD-189 describe:

El crecimiento en la confiabilidad **Reliability growth** como la implementación positiva en parámetros de confiabilidad sobre un periodo de tiempo, cambios en diseño de productos, procesos de manufactura y mantenimiento.

Gerencia del crecimiento de la confiabilidad **Reliability growth management**, como la planeación sistemática para jerarquizar la confiabilidad como una función del tiempo y la controlabilidad del índice de ejecución basada en la comparación entre lo planeado y los valores esenciales de la confiabilidad.



SERVICIOS DE INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

Tel. 572 315 315 8970, Cali e-mail: rcmingeneria@emcali.net.co

El crecimiento de la confiabilidad requiere metas y pronósticos de los progresos.

El AMSAA actualizado de la información militar USA Military Handbook MIL-HDBK-189 esta en el documento guía del Reliability Growth TR-652 (DOD 2000). Disponible en la pagina de Internet www.barringer.com/nov02prb.htm.

Ejemplo 1 (pronostico de fallas): fallas por disparos en la red eléctrica por problemas atmosféricos, fallas en aisladores, daño de pararrayos, animales en la red, etc de una planta petrolera.

La tabla de disparos es la sumatoria de las fallas en los 8 diferentes circuitos en la distribución de energía eléctrica para los diferentes pozos con unidades de bombeo mecánico y electromecánico.

MES 2003	No FALLAS	No FALLAS ACOMULATIVAS
ENERO	8	8
FEBRERO	6	14
MARZO	7	21
ABRIL	13	34
MAYO	6	40
JUNIO	4	44
JULIO	2	46
AGOSTO	10	56
SEPTIEMBRE	14	70
OCTUBRE	7	77
NOVIEMBRE	6	83
DICIEMBRE	5	88

Tabla 1: numero de fallas en el año 2003.

Para determinar fácilmente el modelo C/A

se usa el software DEMO descargado de www.barringer1.com. SuperSMITH Visual. Con esta herramienta se encuentra las variables de la ecuación:

$$Y(x) = \lambda x^\beta$$

Y = Numero de Fallas o costos



X = Número de meses, días, horas

λ = Valor de primera Falla o costo

β = Pendiente constante y está relacionado con la rata de mejoramiento.

La grafica 1 muestra el calculo de la pendiente $\beta = 0.971$ y $\lambda = 7.75$.

Grafica 1: Modelo Crown AMSAA para ejemplo 1

El $\beta < 1$ determina una rata de falla decreciendo.

Para el pronostico de las fallas futuras el software provee la extrapolación (grafica 2) de la información, se encuentra los siguientes fallas esperadas:

Enero 2004 = 6

Febrero 2004 = 9

Marzo 2004 = 5

Abril 2004 = 6

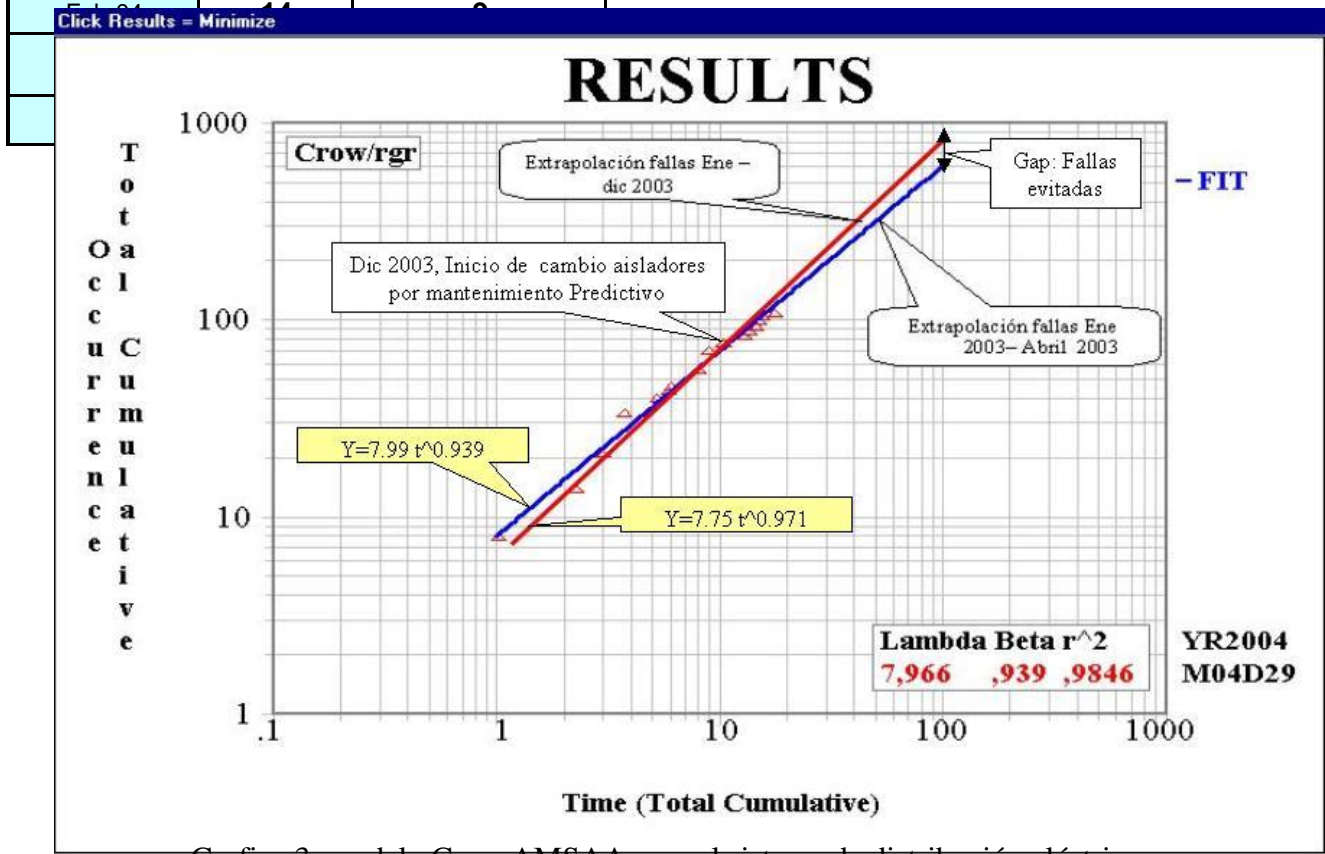


Grafica 2: extrapolación de las fallas

La comparación de las fallas reales vs las pronosticadas se encuentran en la tabla 2.

Las desviaciones están entre 0 y 35% del valor real del número de fallas.

MES	No falla real	No Fallas pronosticadas
Ene-04	7	6



Grafica 3: modelo Crow AMSAA para el sistema de distribución eléctrico

Tabla 2: comparación fallas reales vs pronosticadas.

EJEMPLO 2 (Crecimiento en la confiabilidad): Para disminuir la tasa de fallas en los circuitos de distribución de energía (13,2 kv) en una planta petrolera, se implemento un programa de **MANTENIMIENTO PREDICTIVO** usando termografía y ultrasonido.

El análisis determino 20 aisladores con fuga de descarga parciales, 18 puntos calientes en baja tensión, varios cortacircuitos con efecto corona entre otros. Los cambios se efectuaron en Noviembre y Diciembre del 2003 y se tiene los siguientes resultados:

1. Disminución de las fallas por salidas de los circuitos alimentadores de los pozos.
2. La disminución del parámetro β determina en el modelo C/A un crecimiento en la confiabilidad de los circuitos.



SERVICIOS DE INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

Tel. 572 315 315 8970, Cali e-mail: rcmingenieria@emcali.net.co

- El GAP entre las dos líneas rectas determinan los ahorros o las fallas que se evitaran o se evitaron con la implementación de los cambios realizado.
- El pronostico para el final del 2004 es: $Y1=7.75*(24)^{0.971}$ - $Y2=7.99*(24)^{0.939}$ = 169-157= 12 fallas evitadas con los ahorros por perdidas evitadas por Mantenimiento predictivo y la corrección de los hallazgos.

PREDICCIÓN DE LOS COSTOS Y AHORROS FUTUROS EN IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

EJEMPLO 3: Ahorro de costos en O&M en un sistema de inyección de agua.

Después de analizar la confiabilidad de cada equipo y de implementar los cambios en la operación, producto de un TPM, modificaciones en las rutinas de mantenimiento usando RCM y mejoramientos del sistema de control, se determinaron los ahorros en los costos de O&M para 2004 usando el modelo C/A.

MES	H.H/VALOR	REPUESTOS	TALLERES	TOTAL
Ene	12.365.469	16.999.593	2.548.000	31.913.062
Feb	5.139.240	40.039.094	6.421.000	51.599.334
Mar	14.561.180	42.300.861	4.825.000	61.687.041
Abr	20.471.306	27.639.406	16.500.488	64.611.200
May	19.272.150	31.180.593	11.840.000	62.292.743
Jun	16.359.914	93.724.594	8.788.734	118.873.242
Jul	21.670.462	53.453.106	10.723.450	85.847.018
Ago	9.336.286	22.256.709	1.250.000	32.842.995
Sep	10.449.788	55.593.005	6.322.950	72.365.743

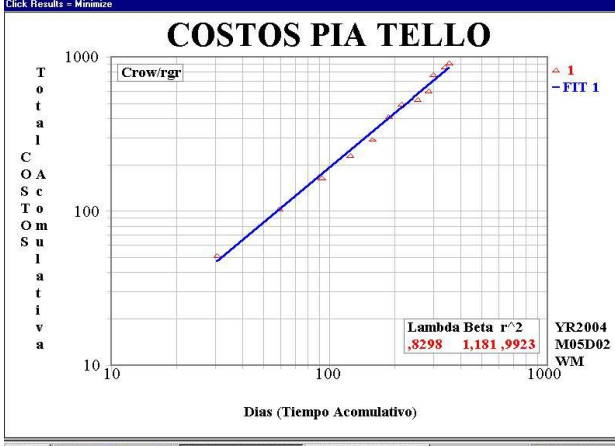


tabla 3: Costos de O&M enero – dic 2003

Los costos son modelados en C/A

Grafico 4: modelo C/A sistema inyección agua

La grafica 4 muestra el calculo de la pendiente $\beta = 1.181$ y $\lambda = 0.828$.

La pendiente muestra que los costos están con predominación al aumento. Después de implementar los mejoramientos en los sistemas como son:

- Operador Mantenedor con rutinas desarrolladas usando el TPM
- Cambio de los tiempos de mantenimiento usando los cálculos de MTBF para varios componentes.
- Nueva estructura de mantenimiento usando el RCM
- Mejoramientos y cambios en componentes y operación del sistema.

Después análisis los costos de O&M debido a los cambios, los últimos 3 meses y analizando en modelo C/A se tiene:

MES	TOTAL	Costo acumulado	Mes acumulado
Dic-03	50.598.511	917.123.416	365
Ene-04	65.734.842	982.858.258	396
Feb-04	54.358.638	1.037.216.896	424
Mar-04	68.668.457	1.105.885.353	455

TABLA 4: COSTOS 2004

El análisis C/A es el siguiente:

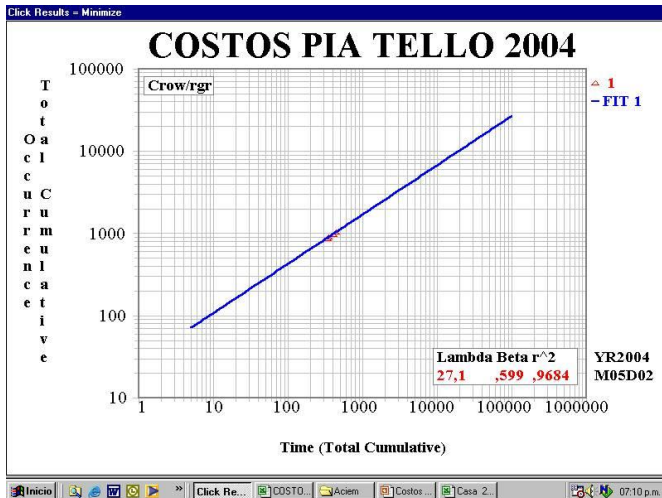


Gráfico 5: modelo C/A para los costos 2004

La grafica 5 muestra el calculo de la pendiente $\beta = 0.599$ y $\lambda = 27.1$. Este calculo muestra un $\beta < 1$, que indica un mejoramiento en la confiabilidad.

La grafica 6 muestra el siguiente análisis: El pronostico para el final del 2004 es: Costos ahorrados es $C\$2 - C\1 para un

tiempo de 730 días 2 años.

$$C\$2 = 0.82 * (730)^{1.18} = 1.961 \text{ millones}$$

$$C\$1 = 27.1 * (730)^{0.59} = 1.406 \text{ millones}$$

$$\text{Ahorro } C\$ = C\$2 - C\$1 = 555 \text{ millones}$$

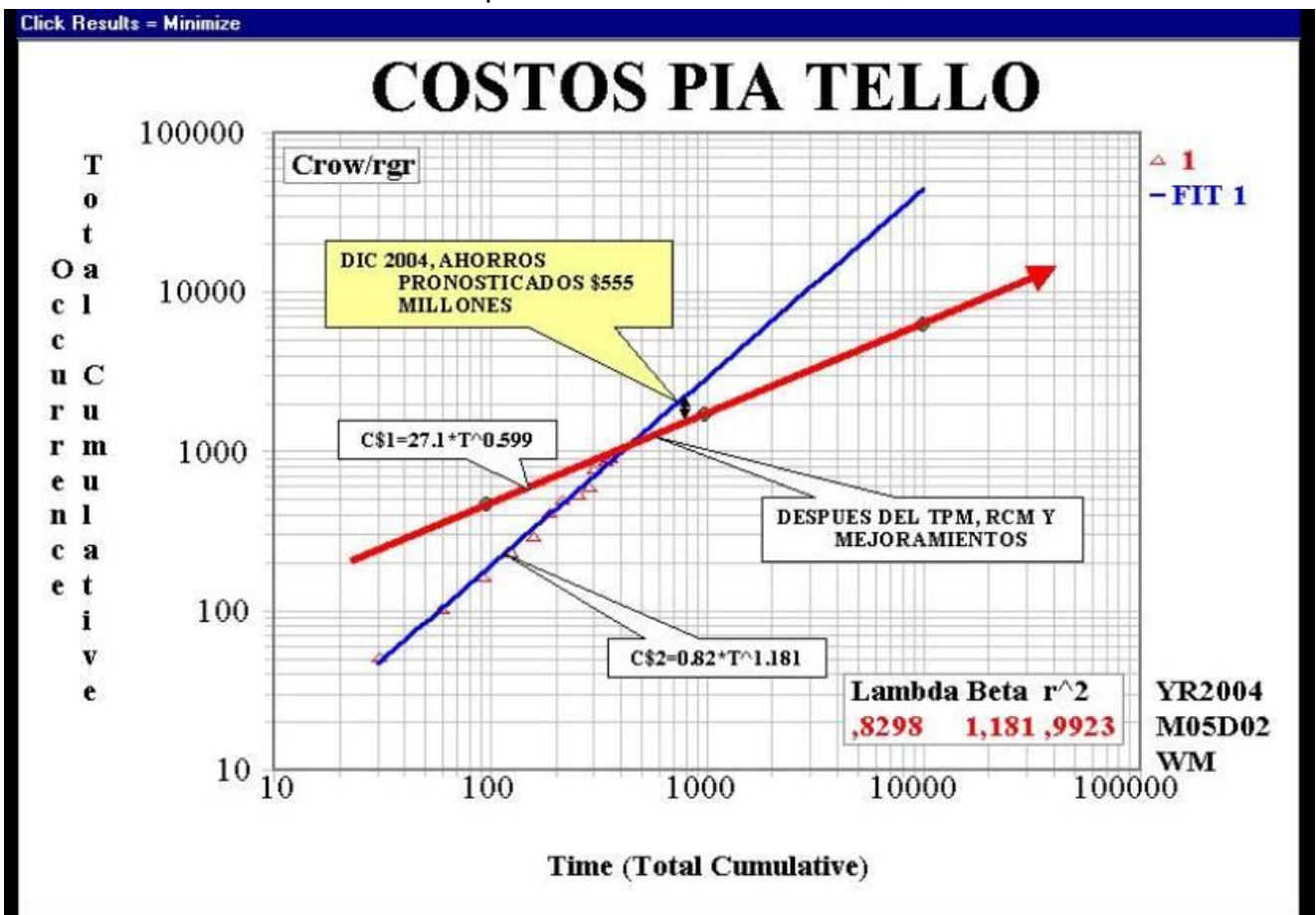
Conclusiones

El propósito de este modelo de administración, cuantificación, análisis de fallas y costos es poder tener alarmas e indicadores para tomar acciones correctivas para prevenir fallas futuras y evitar altos costos por fallas. Prevenir fallas futuras es una actividad PROACTIVA dentro de los nuevos esquemas del ingeniero de confiabilidad y mantenimiento.

REFERENCIAS

Abernethy, Robert B, The New Weibull handbook (año 2000)

Department of defense, AMSAA Reliability Growth Management, MIL-HDBK-189 (año



Gráfica 6: modelo Crow AMSAA para el sistema de inyección de agua



SERVICIOS DE INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

Tel. 572 315 315 8970, Cali e-mail: rcmingeneria@emcali.net.co

1981)

Barringer, H. Paul, problem of the month
noviembre 1997 – total productive
maintenace results,
<http://barringer1.com/nov97prb.htm> (1997)



SERVICIOS DE INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD

Tel. 572 315 315 8970, Cali e-mail: rcmingeneria@emcali.net.co

William M. Murillo:

Ing electricista Univalle, Especialista en mantenimiento y operación de sistemas industriales, Especialista en sistemas de transmisión de potencia y generación, diplomado en confiabilidad de sistemas, UniAndes. Ha trabajado para Stewart & Stevenson como Operador y mantenedor de Turbinas a Gas; para Brithis Petroleum, como supervisor de mantenimiento eléctrico de Cusiana y Cupigua; para Ecopetrol en diseño de procedimientos y estructuración del CMMS; para Termovalle como analista de O&M, para HSB en la implementación RCM en Venezuela, Actualmente trabaja para Mecánicos Asociados como líder de planeación de mantenimiento para HOCOL, Ingeniero Consultor para RCM ingeniería y HSB Reliability Technologies (Houston TX).

Email: rcmingeneria@emcali.net.co ; www.rcmingeneria.com