CMC CHILE 2026

Sesión
BRÚJULA

1

BRÚJULA SESIÓN 26

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN



Priorización de capacidad de mantenimiento bajo restricciones operacionales:

“Un enfoque basado en riesgo y condición. Aplicación en Telescopios Terrestres.”

Jorge Antonio Parra
Project Manager & System Engineer

2

Introducción



Prioridad de Servicios de Ingeniería

Mantenimiento enfocado en la **disponibilidad entre intervalos de operación científica**.

El problema

Las tareas de mantenimiento compiten por el mismo personal especializado y la misma ventana de intervención. Lo que falta es un **criterio explícito de priorización**.

El enfoque

Priorizar la capacidad de mantenimiento **según riesgo y condición (RBM)**, aplicado a un sistema del telescopio Gemini Sur, donde el próximo descubrimiento científico puede tardar décadas.

3

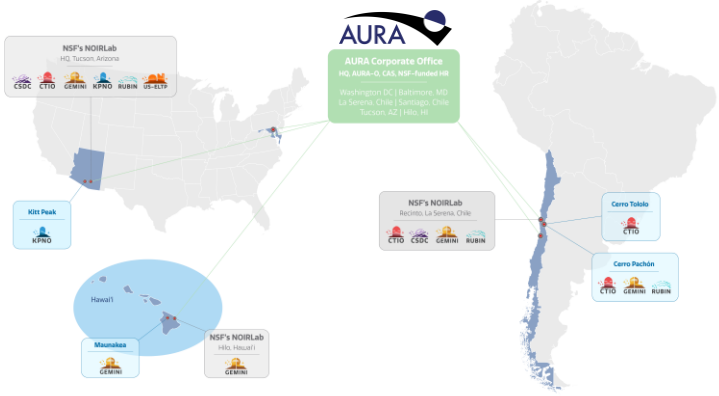
Quiénes somos y dónde operamos

AURA

Organización sin fines de lucro que opera **NOIRLab**, el laboratorio nacional de astronomía óptica-infrarroja de la NSF.

En Chile

Cerro Tololo y Cerro Pachón (Gemini Sur, Rubin), bajo un acuerdo cooperativo entre la NSF y el gobierno de Chile.



CERRO TOLOLO INTER-AMERICAN OBSERVATORY · COMMUNITY SCIENCE AND DATA CENTER · INTERNATIONAL GEMINI OBSERVATORY · KITT PEAK NATIONAL OBSERVATORY · VERA C. RUBIN OBSERVATORY

4


Gemini Sur, Cerro Pachón

Gemini en 2025

284 **Publicaciones arbitradas**; Gemini Sur aportó 165

685 **Publicaciones del staff** de NOIRLab y Gemini

3:1 **Demanda de tiempo** frente al disponible (oversubscription), semestre 2026A

5

3-5%

Unplanned Downtime, efectivo en una jornada de observación nocturna.

Date (UT)	Fault Loss (hrs)	Weather Loss (hrs)	Science (hrs)	Commissioning (hrs)	Engineering (hrs)	Telescope Shutdown	Time On Sky (hrs)	Time Between Twilights
1/30/2026	0.28	0.77	5.04	0	2.45	0	7.49	8.54
1/31/2026	0	0.88	5.10		2.59		7.69	8.57
	Fault Loss (hrs)	Weather Loss (hrs)	Science (hrs)	Commissioning (hrs)	Engineering (hrs)	Telescope Shutdown	time on sky (hrs)	Time Between Twilights
	63.959	517.807	1025.76	0	84.53	9.61	1110.29	1701.67
	3.76%	30.43%	60.28%	0.00%	4.97%	0.56%	65.25%	100.00%

Time Between Twilights: Tiempo total disponible de observación nocturna
Weather Loss: 20 - 30% (depende del semestre)
Engineering: Tiempo para calibración y testing

6

Uso del tiempo nocturno por telescopio, 28 sep – 4 oct



7



CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN

Gestión de mantenimiento

1. **Proactivo (60 %):** Procuramos un equilibrio entre la disponibilidad y el tiempo de inactividad del telescopio.
   - 1.1. Basado en uso (10 %)
   - 1.2. Basado en calendario (30 %)
   - 1.3. Basado en condición (20 %)

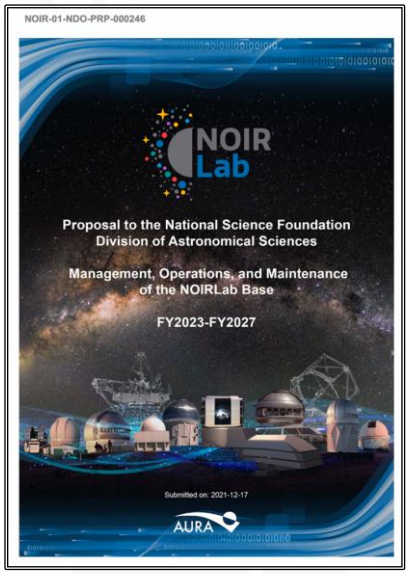
2. **Reactivo (40 %):** Lo aplicamos en activos donde el monitoreo en tiempo real es técnicamente inviable y en sistemas redundantes.
   - 2.1. Falla (10 %)
   - 2.2. Correctivo (30 %)

Para mitigar el tiempo de inactividad por mantenimiento reactivo, gestionamos listas de repuestos críticos.

NSF NOIRLab

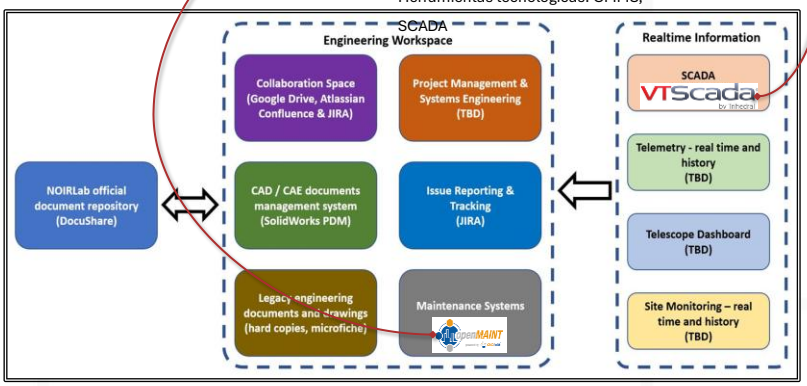
8

Visión estratégica: plan a 5 años



Estrategia de mantenimiento para la mejora continua

- Inventario de activos
- Análisis de criticidad de activos
- Monitoreo del comportamiento de activos
- Histórico de datos de activos (modelado)
- Herramientas tecnológicas: CMMS, SCADA



9

Gestión de mantenimiento



- Taxonomía y base de datos de activos
- Flujos de trabajo de mantenimiento (reactivo y proactivo)
- Planificación de OT: basado en calendario, basado en uso, reactivo diferido
- Dashboard de gestión personalizado
- Evaluación basada en riesgo
- SCADA (API): automatizar el mantenimiento basado en uso, con potencial uso en PdM

10

BRÚJULA SESIÓN

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN

Mantenimiento basado en Riesgo
Risk-Based Maintenance (RBM)

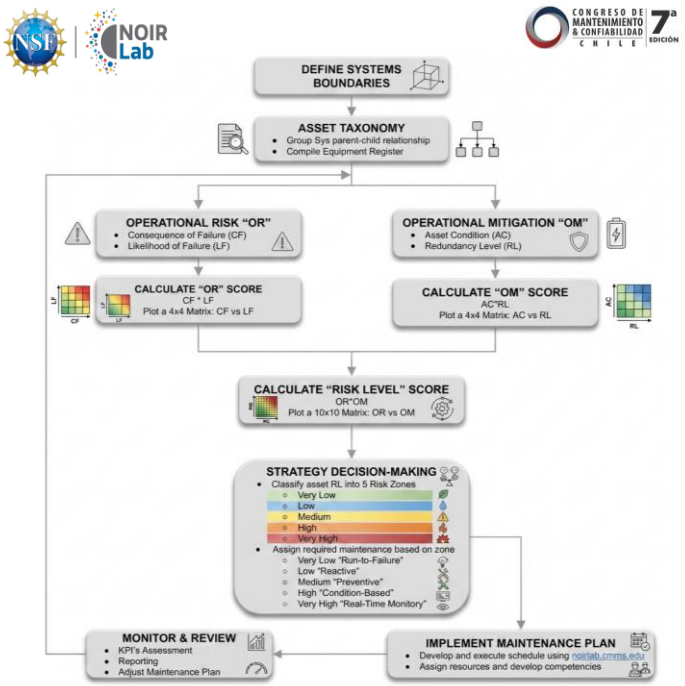
Metodología y caso práctico

11

Adaptamos los estándares

ISO 14224:2016 y NORSOK Z-008

1. Incluyendo “Mitigación operacional”:
   - Condición del equipo/sistema post-mantenimiento
   - Configuración operacional (Nivel de Redundancia).
2. Modificación la escala Alto, Medio y Bajo, con una distribución normal suavisada.



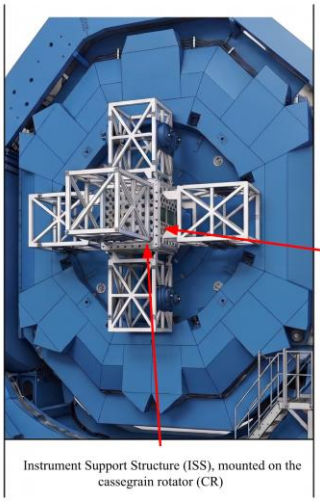
12

El Acquisition and Guidance (A&G) System

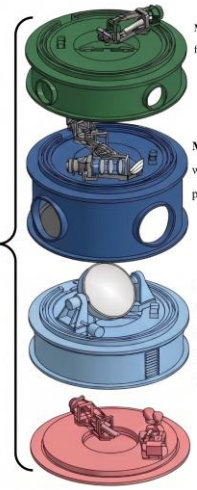
Es una integración de sistemas optomecánicos, electrónicos y software de control.

El A&G se compone de 4 módulos de servicio y 5 estaciones focales, instalado dentro de la estructura de Soporte de Instrumentos (ISS).

233 componentes mantenibles



Instrument Support Structure (ISS), mounted on the cassegrain rotator (CR)



Module 4: (closest to the sky) first peripheral wavefront sensor.

Module 3: second peripheral wavefront sensor and facility AO pick-off mirror.

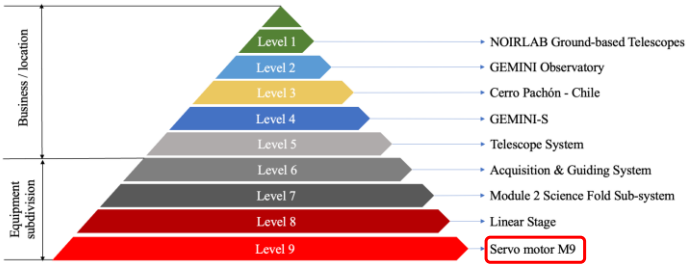
Module 2: science fold, directs telescope beam to a side-looking science instrument or retracts to allow passage of beam to the up-looking instrument.

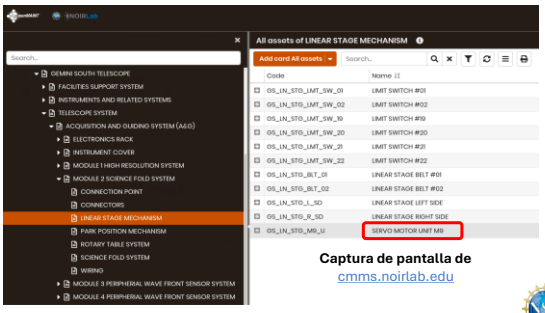
Module 1: acquisition camera/high resolution wavefront sensor.

13

Módulo 2: Science Fold (A&G_SF)







Captura de pantalla de cmms.noirlab.edu

14

Riesgo operacional "O_R"

$$O_R = C_OF * L_OF$$

C_OF = Consecuencia de la falla

L_OF = Probabilidad de la falla

Consecuencia de la falla (CoF) · puntaje

Catastrófico	> 72 h o impacto científico muy alto	**15**
Alto	25 a 72 h o impacto científico alto	**10**
Medio	8 a 24 h o impacto científico medio	**5**
Bajo	< 8 h o sin impacto científico	**1**

Probabilidad de la falla (LoF) · puntaje

Probable	Más de 6 fallas al año	**15**
Moderado	2 a 6 fallas al año	**10**
Improbable	1 falla al año	**5**
Raro	1 falla cada 3 años	**1**

CoF \ LoF	**1**	**5**	**10**	**15**
15	15	75	150	225
10	10	50	100	150
5	5	25	50	75
1	1	5	10	15

Cada celda es el riesgo operacional OR = CoF × LoF (de 1 a 225).

15

Mitigación operacional "O_M"

$$O_M = E_C * R_F$$

E_C = Condición del equipo

R_F = Factor de redundancia

Condición del equipo (EC) · puntaje

Fuera de servicio	Detenido por falla	**15**
Degradación mayor	Al menos 60 % funcional	**10**
Degradación menor	Entre 61 % y 90 % funcional	**5**
Sin degradación	Funcionalidad nominal	**1**

Factor de redundancia (RF) · puntaje

Sin redundancia	Sin repuesto disponible	**15**
Con repuesto	Repuesto disponible	**10**
Redundancia pasiva	Activación manual	**5**
Redundancia activa	Respaldo automático	**1**

EC \ RF	**1**	**5**	**10**	**15**
15	15	75	150	225
10	10	50	100	150
5	5	25	50	75
1	1	5	10	15

Cada celda es OM = EC × RF (de 1 a 225). Un puntaje alto indica menor mitigación.

16

Nivel de riesgo "R_L"

$$R_L = O_R * O_M$$

Niveles de riesgo y estrategia asociada

Nivel	Rango de RL	Estrategia de mantenimiento
Muy alto	RL ≥ 15.000	Monitoreo en tiempo real y reevaluación con FMEA
Alto	2.500 < RL < 15.000	Proactivo predictivo (condición con datos)
Medio	250 ≤ RL ≤ 2.500	Proactivo por inspección, calendario y uso
Bajo	50 ≤ RL < 250	Reactivo: falla o degradación visible
Muy bajo	RL < 50	Reactivo: falla

17

Nivel de riesgo "R_L"

$$R_L = O_R * O_M$$

Matriz de nivel de riesgo (RL = OR × OM)

OR \ OM	1	5	10	15	25	50	75	100	150	225
225	225	1125	2250	3375	5625	11250	16875	22500	33750	50625
150	150	750	1500	2250	3750	7500	11250	15000	22500	33750
100	100	500	1000	1500	2500	5000	7500	10000	15000	22500
75	75	375	750	1125	1875	3750	5625	7500	11250	16875
50	50	250	500	750	1250	2500	3750	5000	7500	11250
25	25	125	250	375	625	1250	1875	2500	3750	5625
15	15	75	150	225	375	750	1125	1500	2250	3375
10	10	50	100	150	250	500	750	1000	1500	2250
5	5	25	50	75	125	250	375	500	750	1125
1	1	5	10	15	25	50	75	100	150	225

Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

18

Para sistemas complejos con varios activos, usamos una media aritmética ponderada.

$$\bar{R}_L = \Sigma\, w_i \cdot R_{L,i} \,/\, \Sigma\, w_i$$

con i = 1, …, n subsistemas

Nivel de riesgo del sistema "$\overline{R_L}$"

Subsistema	Activos	Peso (w)
Módulo 1 · HR (alta resolución)	67	0,28
Módulo 2 · SF (Science Fold)	47	0,20
Módulo 3 · P2 (WFS periférico)	49	0,21
Módulo 4 · P1 (WFS periférico)	33	0,14
Cubierta del instrumento	1	0,004
Rack electrónico	36	0,15
Sistema A&G (total)	**233**	**1**

19

Cálculo del riesgo operacional "O_R"

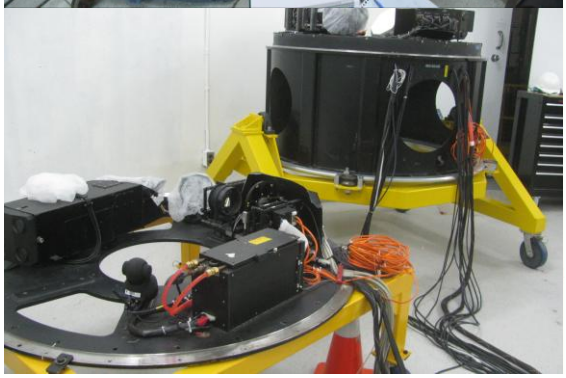
- Reporte de fallas 2023-2025.
- Análisis de casos, para estimar el Time Lost, cuando la falla ocurre en mal clima (30% del TBT).
- Fallas potenciales de sistemas mecánicos con restricción de acceso.

Fallas y tiempo perdido efectivo

	Número de fallas				Tiempo perdido (h)			
Subsistema	**2023**	**2024**	**2025**	**Total**	**2023**	**2024**	**2025**	**Total**
Módulo 1 · HR	1	1	3	**5**	0,20	0,10	0,25	**0,55**
Módulo 2 · SF	2	4	4	**10**	1,33	0,25	0,22	**1,80**
Módulo 3 · P2	4	17	19	**40**	1,28	10,16	4,83	**16,27**
Módulo 4 · P1	1	3	2	**6**	0,05	0,78	0,67	**1,50**
Sistema A&G	**8**	**25**	**28**	**61**	**2,86**	**11,29**	**5,97**	**20,12**

20





21

Riesgo y mitigación por subsistema

		Riesgo operacional			Mitigación operacional		
Subsistema	**Peso**	**CoF**	**LoF**	**OR**	**EC**	**RF**	**OM**
Módulo 1 · HR	0,28	15	15	**225**	1	15	**15**
Módulo 2 · SF	0,20	15	10	**150**	1	15	**15**
Módulo 3 · P2	0,21	10	15	**150**	1	5	**6**
Módulo 4 · P1	0,14	10	15	**150**	1	5	**5**
Cubierta	0,004	5	1	**5**	1	15	**15**
Rack electrónico	0,15	10	5	**40**	1	15	**15**
Sistema A&G	**1**	**12,42**	**12,23**	**152,1**	**1,0**	**12,2**	**12,2**



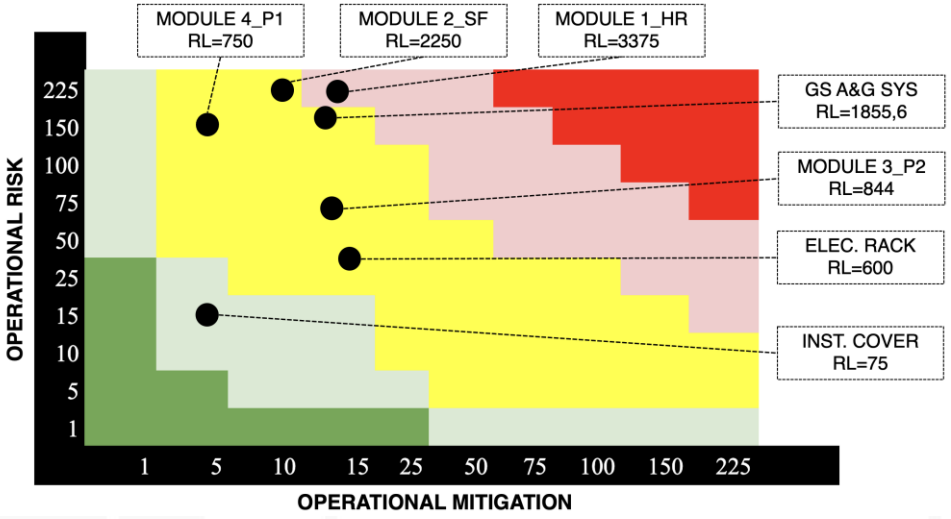


22

Nivel de riesgo del sistema “$\overline{R_L}$”

Subsistema	**Peso**	**OR**	**OM**	**RL**	**Criticidad**
Módulo 1 · HR	0,28	225	15	**3375**	**Alto**
Módulo 2 · SF	0,20	150	15	**2250**	**Medio**
Módulo 3 · P2	0,21	150	6	**844**	**Medio**
Módulo 4 · P1	0,14	150	5	**750**	**Medio**
Cubierta	0,004	5	15	**75**	**Bajo**
Rack electrónico	0,15	40	15	**600**	**Medio**
Sistema A&G	**1**	**152,1**	**12,2**	**1854,9**	**Medio**

Mapa de riesgo por subsistema



23



Resultados y conclusiones

1. **Riesgo global del sistema A&G**
   - **MEDIO** (RL = 1855,6), sin embargo muy cerca del umbral de criticidad **ALTO**
2. **Justificación de la estrategia actual**
   - **Basado en calendario:** shutdown anual del A&G
   - **Basado en condición:** chequeos diarios pre y post operación
   - **Reactivo:** falla y correctivo
3. **Optimización y asignación de recursos**
   - **Priorizar** los recursos especializados en el **Módulo 1**, para que este sistema crítico tenga prioridad de mantenimiento
4. **Próximos pasos y mejora continua**
   - **Actualizar el score:** la metodología no es estática y debe actualizarse con frecuencia
   - **Análisis de confiabilidad:** refinar la evaluación con FMEA y RBD

24



Discusión

1. Calidad de datos históricos y de la experiencia del personal.
2. Actualización continua del nivel de riesgo.
3. Subjetividad del score en las variables del riesgo operacional.
4. La variable HSE representa un desafío metodológico.

25

SESIÓN 26

ESCANEA EL CÓDIGO QR

RESPONDE UNA BREVE ENCUESTA

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD CHILE 7ª EDICIÓN

¡GRACIAS!

Jorge Antonio Parra

Jorge.parra@noirlab.edu

26