

DIAGNÓSTICO DEL CRECIMIENTO DE LOS AGENTES FÚNGICOS SOBRE LOS SISTEMAS ÓPTICOS. MODELACIÓN ANALÍTICA DEL PROCESO DE CRECIMIENTO

Nelson Eugenio Paula-Acosta

Instituto de Geofísica y Astronomía, Cuba, Email: nelson@iga.cu

Resumen

Los agentes fúngicos son un factor agresivo sobre las superficies de las piezas de los sistemas ópticos, a pesar de los avances tecnológicos aplicados para su protección. El objetivo de la investigación fue crear un método de diagnóstico capaz de detectar, cuantificar y prevenir los estados de capacidad de trabajo del sistema óptico afectado por hongo. Se fundamenta el parámetro técnico que refleja el estado técnico del objeto de diagnóstico. El plan experimental ejecutado, reproduce el fenómeno de la contaminación mediante inoculación en un amplio número de variantes de ensayo y emplea la espectrofotometría convencional, para medir la reacción de los instrumentos contaminados ante los micodestructores. La modelación matemática analítica y empírica de los resultados, permitió obtener las dependencias matemáticas del parámetro de diagnóstico respecto al tiempo de crecimiento. Sobre esta base se propone el diagnóstico/pronóstico de la capacidad de trabajo de del instrumento armado, como herramienta de control práctico.

Palabras clave: Factor microbiológico, contaminación fúngica, modelación matemática, espectrofotometría, sistemas ópticos telescópicos

Diagnosis of the action of fungal agent growth on the optical systems. Growth process analytical modeling

Abstract

Fungal agents are an aggressive factor on the surfaces of optical system parts, despite the technological advances applied to their protection. The objective of the research was to create a diagnostic method capable of detecting, quantifying and preventing the working capacity states of the fungal-affected optical system. The technical parameter that reflects the technical state of the diagnostic object is based. The experimental plan executed reproduces the phenomenon of contamination by inoculation in a large number of test variants and uses conventional spectrophotometry to measure the reaction of contaminated instruments to mycodestructors. The analytical and empirical mathematical modeling of the results, allowed achieving the mathematical dependencies of the diagnostic parameter with respect to the growth time. On this basis, the diagnosis / prognosis of the working capacity of the armed instrument is proposed as a practical control tool.

1.Introducción

La explotación de los sistemas ópticos en general y de los telescopios en particular, es una actividad compleja que reviste una gran importancia práctica e incluye el empleo, la transportación, el mantenimiento y reparación y las acciones de almacenamiento y conservación. Los sistemas telescópicos de refracción, reflexión y catadióptricos, encuentran los más variados usos prácticos. Son comunes hoy en día los telescopios en tareas de observación, seguimiento de objetivos, puntería, alineación, exploración y medición, entre otras. Así pues, son frecuentes en la vida práctica, los teodolitos, los sistemas de observación tanto monoculares como binoculares, los goniómetros, telémetros, los instrumentos astronómicos, las miras y otros sistemas semejantes, que involucran en su estructura tubos visuales.

Todos estos sistemas, en algún momento de su explotación se someten a cuidados y períodos de almacenamiento. Cuando este almacenamiento, es por plazos muy largos, se convierte en un régimen importante de la existencia del sistema, que suele denominarse almacenamiento **prolongado**. Como los instrumentos (sistemas) telescópicos son tan delicados, resultan susceptibles de ser afectados por diversos factores externos, que dañan su estructura y perjudican su funcionamiento. En ocasiones, en estos almacenes se guardan no pocas cantidades de sistemas ópticos, cuya integridad y estado técnico deben ser preservados. Esto obliga a establecer un conjunto de reglas para el almacenamiento prolongado, que devienen en normas de estricto cumplimiento tanto para la actividad en general, como para las características constructivas del propio local - y sobre todo - para los parámetros climáticos y ambientales en el interior de éstos.

Cuando concurren cantidades de sistemas telescópicos en almacenamiento prolongado, por plazos considerables (meses e incluso años), se suele aplicar conjuntos de medidas prediseñadas para la preservación de su estado técnico. Estos conjuntos de medidas directamente aplicadas a los instrumentos o a los estuches (o embalajes) que los contienen, persiguen el objetivo de lograr un aislamiento mayor de los telescopios con relación al ambiente del almacén e implican técnicas y medios de hermetización. Estas técnicas de aislamiento, se conocen como **métodos de conservación** y se identifican según sus procedimientos, medios y materiales con diferentes denominaciones, y según la longitud de sus períodos se clasifican en, conservación a corto, mediano o largo plazo.

El objetivo del trabajo es fundamentar y establecer un método de diagnóstico del estado de afectación de los instrumentos telescópicos contaminados e implementar un medio viable de diagnóstico-pronóstico del grado de capacidad de trabajo de dichos sistemas.

El trabajo incluye un conjunto de estudios e investigaciones acerca de la incidencia de los diferentes tipos de desperfectos sobre los instrumentos telescópicos (Fig.1), en almacenamiento prolongado. Se identifican como fallos de mayor incidencia, las capas higroscópicas y la contaminación fúngica, sobre las superficies de trabajo de las piezas ópticas de los sistemas telescópicos. Se aíslan e identifican diversos hongos a nivel de géneros/especies, según su frecuencia de aparición, típicos del país, bajo condiciones de almacenamiento en clima tropical húmedo. Se analizan la influencia sobre el crecimiento fúngico en diversos tipos de sistemas y vidrios ópticos, del complejo humedad-temperatura, el polvo, la obscuridad y otros factores. Se analizan los parámetros técnicos de los instrumentos en estudio, llegando a conclusión de que la transmitancia es la característica técnica, medible, que mejor refleja el estado del sistema óptico sometido a condiciones de contaminación fúngica.

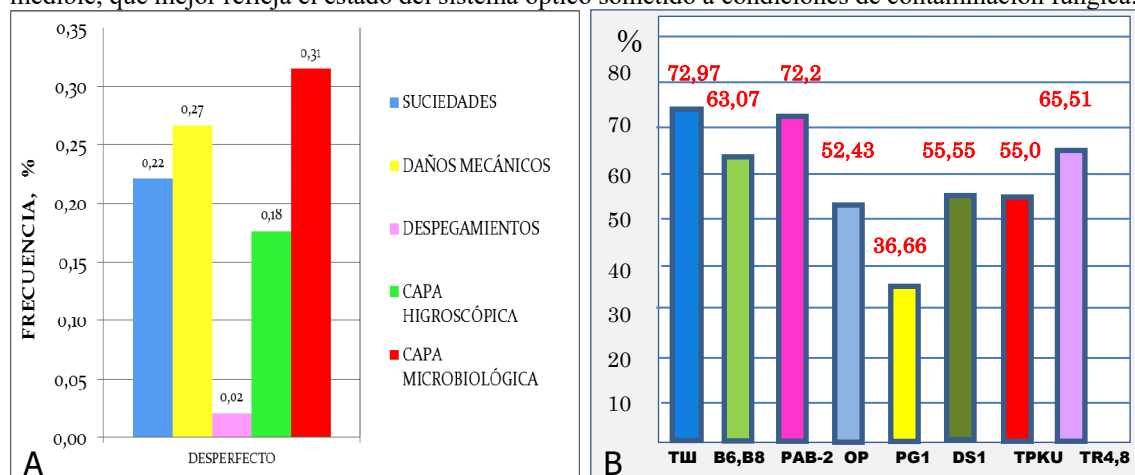


Fig.1. Frecuencia de aparición de desperfectos en una muestra de 249 instrumentos de 8 tipos diferentes: A- Distribución por tipos de desperfectos; B- Frecuencia de presencia de hongo (capa microbiológica) por modelos de instrumentos

2. Métodos y medios

Se emplearon métodos teóricos y experimentales:

Experimentales:

Muestreos de comportamiento de los desperfectos; muestreo de la contaminación espontánea directamente en instrumentos almacenados. Métodos de laboratorio Microbiológico para incubación, aislamiento e identificación de los hongos. Reconstrucción del fenómeno mediante la modelación física por imitación ambiental y simulación (por inoculación en piezas y Sistemas Ópticos reales) de la contaminación microbiológica y la exposición de muestras a condiciones naturales y artificiales (cámaras climáticas, almacenes con climatización controlada, almacenes soterrados con alta humedad relativa, etc.). Se colocaron en los diferentes sitios tanto las muestras de piezas y equipos contaminados, como las de no contaminados.

La técnica de control, fue la espectrofotometría convencional en un rango espectral amplio entre el infrarrojo cercano y el límite violeta del sector visible, como técnica de medición de la transmitancia, en las muestras bajo control.

Teóricos:

Enfoque sistémico, enfoques generales de la teoría del Diagnóstico Técnico adecuada al caso específico de la Contaminación Microbiológica en los Sistemas Ópticos investigados;

Métodos propios de la Óptica para el análisis, cálculo y fundamentación de las condiciones (valores) límites de trabajo, en términos de Transmitancia, de los sistemas telescópicos a investigar.

Métodos de análisis matemático: Estadística matemática, ajuste de las curvas experimentales y modelación, con enfoques analítico y empírico, para la obtención de modelos determinísticos; simulación estadística mediante método de Montecarlo, procedimientos computacionales y de automatización, otros.

3. Resultados

Se obtuvo un cúmulo grande de información estadística sobre la conducta de la transmitancia en el tiempo, en sistemas contaminados y no contaminados, organizados en muestras por tipos de instrumentos (clasificados en tres rangos de complejidad) y en tres rangos de humedad relativa. Estas combinaciones muestrales se midieron en más de diez valores de longitudes de onda en el sector del espectro electromagnético, desde el infrarrojo cercano hasta el violeta. Se consiguió una notable familia de *curvas de transmitancia VS tiempo* de crecimiento. Las mediciones se hicieron en un rango de cerca de 780 días a intervalos entre 25-30 días.

La inoculación en las muestras se ejecutó aplicando 1-2 gotas de una suspensión de esporas (concentración de la suspensión fue de $1\text{-}2 \cdot 10^6$ esp./ml.), de una mezcla de ssp. Aspergillus, de los encontrados (con una incidencia de más del 90 %) en el muestreo inicial en condiciones reales. La aplicación fue a las piezas en el interior de los sistemas telescópicos, que posteriormente se ensamblaron y ajustaron con el rigor tecnológico exigido, en condiciones de taller de tecnología óptica.

Análisis y aplicación de los resultados

Se realizó por varias vías la modelación matemática de los resultados por variantes experimentales. En el ajuste estadístico se comprobó la significación de los coeficientes y la adecuación de los modelos.

Se logró obtener los modelos de las funciones de transmitancia τ en el tiempo de crecimiento t_c de los microorganismos para las muestras contaminadas. Para las muestras no contaminadas se determinó con muy aceptable nivel de aproximación el momento de surgimiento del crecimiento fúngico por contaminación espontánea.

Se obtuvo un conjunto de modelos de $\tau = f(t_c)$: un modelo descriptivo construido por vía analítica que fue denominado modelo tipo 1 (**M1**) y un modelo polinomial ajustado por regresión multifactorial, que incluye la variable longitud de onda λ en la forma $\tau = f(\lambda, t_c)$, denominado tipo 2 (**M2**).

Estos modelos en sí representan la herramienta matemática para realizar la tarea de diagnóstico-pronóstico del estado de afectación de los sistemas.

Las curvas experimentales demostraron la existencia de otro fenómeno interesante en el crecimiento fúngico en los sistemas ópticos estudiados: La longitud de onda de máxima transmisión $\lambda_{\max}$ (en los picos), se corre en el tiempo, hacia valores cada vez más pequeños. En efecto, las superficies ópticas contaminadas, en el transcurso del tiempo de crecimiento del hongo se van

cubriendo de un entramado formado por la estructura del micelio del hongo (Fig.2.). Las hifas del micelio van creando una “rejilla” con espacios libres, cada vez más pequeños. La zona contaminada aumenta de modo progresivo la absorción de la luz. Los espacios libres son cada vez más codimensionales con las longitudes de las ondas de luz, dejando pasar selectivamente las más pequeñas.

La superficie de la lente se torna en una especie de “red de difracción” aleatoria variable en el tiempo de crecimiento.

El análisis de este fenómeno, mediante procesamiento matemático, estableció la asociación funcional entre las variables $\lambda_{\max}$ y t_c , lográndose un tercer modelo (M3) del tipo $\lambda_{\max} = f(t_c)$. Este último modelo también deviene en un instrumento práctico invaluable con fines de solución a la tarea de diagnóstico-pronóstico

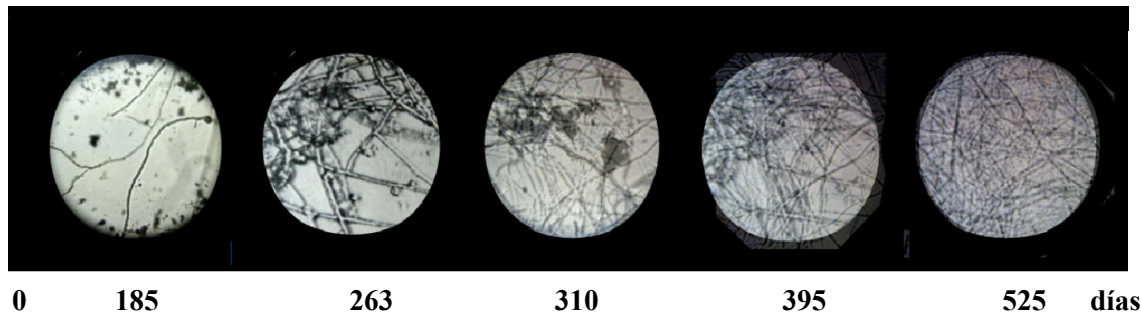


Fig.2. Variación del micelio fúngico en la superficie de trabajo de una pieza óptica en el transcurso del crecimiento

El método, esquematizado en la Figura.4, permite obtener los valores de intensidad a la entrada I_1 y salida I_2 , de la luz, que atraviesa el sistema óptico objeto de estudio. Los valores del Radiómetro, mediante el sensor de Silicio S, son transmitidos a un PC, cuyo paquete de software previamente diseñado, habilita el análisis en dos subprocesos: *diagnóstico* y *pronóstico*; o bien permite acopiar nuevas mediciones en bases de datos utilizadas en otro subproceso, la *modelación* (determinación y salva de los coeficientes de nuevos modelos matemáticos).

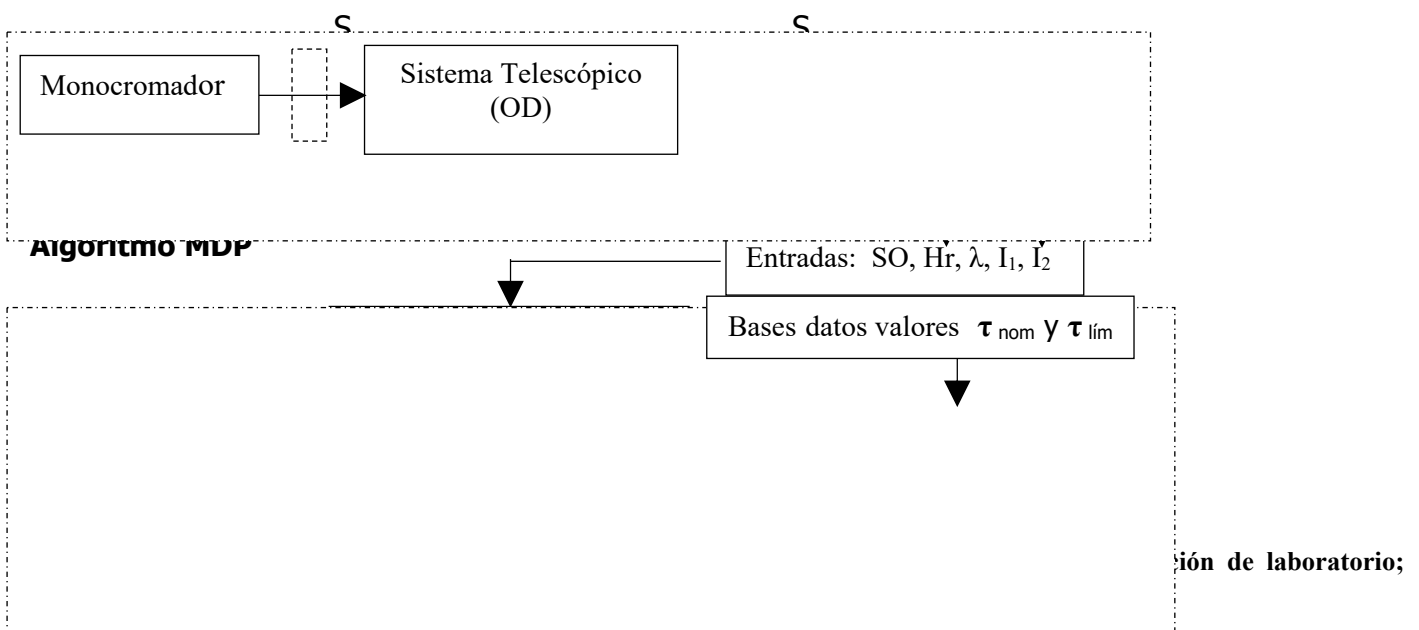


Fig. 4. Esquema general del método

Nota: IM: Instalación de laboratorio; Algoritmo MDP: Algoritmo de modelación diagnóstico y pronóstico. S – Sensor de Silicio; U – mediciones entrada y salida del Sistema telescópico; OD – Objeto de Diagnóstico; I_1 , I_2 – registros digitales de las mediciones de intensidad luminosa; SO – Sistema óptico (modelo); Hr – Registro del rango de humedad relativa en que se almacena el OD; λ . Longitud de onda en que se hace la medición; D/P – Diagnóstico-pronóstico; GCT – grado de capacidad de trabajo; τ_{nom} y $\tau_{\text{lím}}$ – Valores nominal y límite del parámetro de diagnóstico.

Conclusiones

El resultado final de la investigación fue un *Sistema de Diagnóstico Técnico* del estado de capacidad de trabajo de los instrumentos telescópicos con afectación por contaminación fúngica. Este sistema es aplicable tanto al régimen de almacenamiento y conservación, como a los regímenes de empleo y de mantenimiento y reparación.

El sistema es sencillo, técnica y económicamente viable.

El pronóstico puede hacerse en dos sentidos: directo (en términos de τ) e inverso (en términos de t_c). Para la ejecución correcta del pronóstico se trabaja con la unión de las curvas de $\tau = f(t_c)$ conseguidas para sistemas no contaminados y contaminados. Esto permite referenciar los valores de tiempo a todo el plazo de almacenamiento.

En más de 780 Sistemas de diferentes modelos sometidos al diagnóstico (binoculares, tubos visuales, miras, goniómetros, periscopios de observación y otros). Hubo detección de contaminación fúngica, en algún grado de desarrollo, en el 54,82% de los IO procesados. Se estiman los beneficios por concepto de la ejecución de pronósticos oportunos de aproximadamente de 1,06 Millones de pesos.

Aunque fue concebido para telescopios de refracción, el método es aplicable a los telescopios reflectores y catadióptricos, ejecutando las adecuaciones técnicas necesarias para la correcta medición de emisión espectral a la entrada y a la salida del telescopio, objeto de diagnóstico.

El almacenamiento prolongado en ambientes cerrados y húmedos propios de climas tropical y subtropical, implica permanencia de los IO en reposo por largos plazos, bajo condiciones estables y favorece la concurrencia simultánea de agentes externos que causan deterioro y biodeterioro en los sistemas ópticos.

Bajos rangos de humedades relativas: (55-65)% en el ambiente de almacenamiento, reducen notablemente la velocidad de desarrollo del factor biológico. Por debajo o por encima de estos valores puede provocarse daños a los materiales del IO. Lo más efectivo es la combinación de acondicionadores de aire con deshumidificadores.

La temperatura estable en rango (17-20) °C, es indispensable es capaz de frenar el crecimiento de casi el 70 % de especies de hongos, propios de climas subtropical y tropical.

El almacenamiento en países de climas tropical y subtropical, exige de modo obligatorio, el empleo de medidas de conservación drásticas dentro del propio almacén, que mantengan al SO aislado de *polvo, humedad, esporas de hongos filamentosos y otros factores contaminantes*.