Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Profesional de Física

Análisis físico-operativo de un sistema láser Q-Switched considerando variables ambientales en dermatología clínica

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Licenciada en Física

AUTOR

Mayra Alejandra YURIVILCA LAZO

ASESORES

Mg. Mabel Erlinda TESILLO QUISPE

Gladys Ofelia CRUZ VILLAR (Coasesora)

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Yurivilca, M. (2026). *Análisis físico-operativo de un sistema láser Q-Switched considerando variables ambientales en dermatología clínica*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Física]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Mayra Alejandra Yurivilca Lazo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74934733
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3531-6104
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Mg. Mabel Erlinda Tesillo Quispe
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40603211
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9620-3237
Datos de coasesor	
Nombres y apellidos	Lic. Gladys Ofelia Cruz Villar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	40867223
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-7414-8913
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Mg. María Luisa Cerón Loayza
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10013268

Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Dr. Erick Oscar Natividad Zevallos
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	48035035
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Lic. Percy Arturo Paz Retuerto
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07175524
Datos de investigación	
Línea de investigación	A.2.1.7 Óptica Lineal y No Lineal
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Clínica Dermalaser Estetic País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Juan de Lurigancho Centro poblado: No aplica Urbanización: No aplica Manzana y lote: No aplica Calle: Av. Próceres de la Independencia N.° 1722 Latitud: -11.999738 Longitud: -77.006490
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2026
URL de disciplinas OCDE	Óptica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.03.06 Ingeniería médica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.06.01 Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Siendo las 08:40 horas del sábado 04 de julio de 2026, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Físicas (Auditorio 109), bajo la Presidencia de la Mg. María Luisa Cerón Loayza (Presidenta), Dr. Erick Oscar Natividad Zevallos (Miembro Titular), Mg. Mabel Erlinda Tesillo Quispe (Asesora) y el Lic. Percy Arturo Paz Retuerto (Miembro Suplente), se dio inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Licenciado en Física (según Art. 45.2 de la Ley N° 30220), del bachiller:

MAYRA ALEJANDRA YURIVILCA LAZO

Dando lectura al resumen del expediente, el Presidente del Jurado, invitó al bachiller Mayra Alejandra, Yurivilca Lazoa realizar su exposición del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: *"Análisis físico-operativo de un sistema láser Q-Switched considerando variables ambientales en dermatología clínica".*

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente, invitó al bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión, para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado.

Al término de la deliberación del Jurado, la Mg. María Luisa Cerón Loayza invitó al candidato y al público a pasar a la Sala de Sesión, para dar lectura al resultado de la deliberación. Ha obtenido la calificación de:

17	DIECISIETE	CON HONORES
(NÚMERO)	(LETRAS)	(MENCIÓN)

Finalmente, la Presidenta del Jurado, propone al consejo de la Facultad que se le declare Licenciado en Física al bachiller Mayra Alejandra, Yurivilca Lazo Siendo las 9:45 AM horas, se levanta la sesión.

Mg. María Luisa Cerón Loayza
Presidenta

Dr. Erick Oscar Natividad Zevallos
Miembro Titular

Mg. Mabel Erlinda Tesillo Quispe
Asesora

Lic. Percy Arturo Paz Retuerto
Miembro Suplente

Scanned with CamScanner

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo., **Mabel Erlinda Tesillo Quispe** en mi condición de asesor acreditado mediante el Acuerdo del Comité de Gestión N° **048-EPF-FCF-26** del Trabajo de Suficiencia Profesional, cuyo título es **Análisis físico-operativo de un sistema láser Q-Switched considerando variables ambientales en dermatología clínica**, presentado por la bachiller **Mayra Alejandra Yurivilca Lazo** para optar el **Título Profesional de Licenciado en Física**, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el **12 %** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del **Título Profesional de Licenciado en Física.**

Lima, 29 de Septiembre 2026

Firma del Asesor: _____

Nombres y Apellidos del asesor: Mg. Mabel Erlinda Tesillo Quispe
DNI: 40603211

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

Dedicatoria

A mi vocación por la ciencia y el servicio,
por ser el motor que impulsa cada uno de mis esfuerzos y da sentido a este recorrido.

A cada desafío que formó mi trayectoria,
por enseñarme a crecer con fortaleza, sensibilidad y determinación.

A la ciencia y al aprendizaje continuo,
por inspirarme a contribuir desde la Física, al desarrollo del conocimiento científico y a perseguir con pasión cada nueva pregunta que aún espera una respuesta.

Agradecimientos

A Dios Todopoderoso, por acompañarme en cada etapa de este camino y concederme la fortaleza, la perseverancia y la sabiduría necesarias para culminar este Trabajo de Suficiencia Profesional. A mi querido Perú, por inspirarme a poner mi formación profesional al servicio del conocimiento y del bienestar de nuestra sociedad.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por la formación académica recibida y por brindarme las herramientas para crecer como profesional. Expreso también mi sincero agradecimiento a mis docentes y asesores, cuyas enseñanzas, orientación y compromiso contribuyeron de manera significativa al desarrollo de este trabajo. Finalmente, agradezco a mi familia y a todas las personas que me brindaron su apoyo, confianza y palabras de aliento durante el desarrollo de esta etapa académica.

ÍNDICE

RESUMEN 9

ABSTRACT 10

1. INTRODUCCIÓN 11
    1.1 Situación problemática 12
    1.2 Motivación 13
    1.3 Justificación 14
    1.4 Objetivos 14
        1.4.1 Objetivo general 14
        1.4.2 Objetivos específicos 15

2. MARCO DESCRIPTIVO REFERENCIAL 16
    2.1 Descripción de la institución 16
    2.2 Antecedentes de la institución 16
    2.3 Áreas de desarrollo profesional 17

3. MARCO TEÓRICO 18
    3.1 Antecedentes de investigación 18
    3.2 Bases teóricas 19
        3.2.1 Fundamentos físicos del láser 19
        3.2.2 Principio físico del Q-Switching 20
        3.2.3 Parámetros físicos en sistemas láser médicos 20
        3.2.4 Interacción de la radiación láser con el tejido biológico 22
        3.2.5 Fundamentos de metrología aplicada 23
        3.2.6 Verificación operativa y concepto de calibración en el contexto del estudio 24
        3.2.7 Variables ambientales en sistemas láser 25

4. METODOLOGÍA Y DESARROLLO EXPERIMENTAL 26
    4.1 Datos 26
    4.2 Metodología 27

4.3 Diseño experimental 28
4.4 Técnicas utilizadas 28
4.5 Instrumento de evaluación técnica 28
4.6 Descripción del sistema láser Q-Switched 29
4.6.1 Aplicaciones clínicas observadas 31

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 34
5.1 Presentación del análisis, interpretación y discusión de resultados 34
5.1.1 Resultados de variables ambientales 34
5.1.2 Resultados de temperatura del sistema láser Q-Switched 35
5.1.3 Control eléctrico 36
5.1.4 Verificación de condiciones de seguridad 37
5.1.5 Resultados de parámetros operativos observados 38
5.1.6 Análisis metrológico descriptivo de variables ambientales y operativas 39
5.1.6.1 Análisis de temperatura ambiente 39
5.1.6.2 Análisis de humedad relativa del ambiente 40
5.1.6.3 Análisis de temperatura del sistema láser Q-Switched 41
5.1.6.4 Representación gráfica de variables ambientales 43
5.2 Interpretación de resultados 45
5.3 Evaluación técnica del sistema 46
5.4 Discusión de resultados 47

6. IMPACTOS 49
6.1 Propuesta para la solución del problema 49
6.2 Beneficios que aporta la propuesta 49

7. CONCLUSIONES 51

RECOMENDACIONES 53

REFERENCIAS 54

ANEXOS 56
Anexo A. Registro ambiental durante los procedimientos con el láser Q-Switched 56

Anexo B. Registro de temperatura del sistema láser Q-Switched 58
Anexo C. Registro ambiental durante los procedimientos con el láser Q-Switched 59
Anexo D. Registro de temperatura del sistema láser Q-Switched 60
Anexo E. Registro ambiental durante los procedimientos con el láser Q-Switched 61
Anexo F. Registro de temperatura del sistema láser Q-Switched 63
Anexo G. Registro eléctrico y verificación de seguridad operativa 64
Anexo H. Instrumentos utilizados durante las mediciones 65
Anexo I. Evidencia fotográfica del procedimiento experimental 67
Anexo J. Especificaciones técnicas y ambientales del fabricante (manual)..... 72
Anexo K. Certificado de calibración del termohigrómetro 74

Marco conceptual o glosario 76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones ambientales de operación del sistema láser Q-Switched 25

Tabla 2. Variables evaluadas en el estudio 26

Tabla 3. Parámetros operativos del sistema láser Q-Switched 31

Tabla 4. Registro de temperatura ambiente y humedad relativa..... 34

Tabla 5. Temperatura del sistema láser Q-Switched..... 35

Tabla 6. Registro de Tensión Eléctrica del suministro eléctrico..... 36

Tabla 7. Verificación de seguridad 37

Tabla 8. Parámetros operativos observados en entorno clínico 38

Tabla 9. Datos registrados de temperatura ambiente 39

Tabla 10. Datos registrados de la humedad relativa del ambiente..... 40

Tabla 11. Datos registrados de temperatura del sistema láser Q-Switched… 41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema láser Q-Switched utilizado en dermatología clínica, mostrando el panel de control y el aplicador del equipo durante su operación 30

Figura 2. Configuración del sistema láser para eliminación de tatuajes de cejas 32

Figura 3. Configuración del sistema láser para eliminación de marcas de nacimiento 32

Figura 4. Configuración del sistema láser para el tratamiento facial (Black Doll) 33

Figura 5. Configuración del sistema láser para eliminación de tatuajes 33

Figura 6. Variación de la temperatura ambiente durante las jornadas evaluadas 43

Figura 7. Variación de la humedad relativa durante las jornadas evaluadas 44

Figura 8. Temperatura final del sistema láser Q-Switched por jornada 45

RESUMEN

En el presente Trabajo de Suficiencia Profesional se realizó un análisis físico de los parámetros operativos de un sistema láser Q-Switched utilizado en dermatología clínica, considerando su comportamiento en condiciones reales de uso. El problema abordado se relaciona con la limitada incorporación de criterios de análisis físico y medición en la evaluación de estos equipos en entornos clínicos, donde el control suele centrarse en la configuración operativa sin un estudio sistemático de variables físicas. La metodología adoptada correspondió a un enfoque técnico–descriptivo, basado en la observación del sistema en funcionamiento, el registro de sus parámetros operativos y la medición de variables ambientales, como la temperatura y la humedad relativa, durante tres jornadas clínicas consecutivas. Los resultados evidenciaron que las condiciones ambientales se mantuvieron estables durante la operación del equipo, favoreciendo su funcionamiento. Asimismo, se observó que los parámetros operativos, como la energía por pulso y la frecuencia de repetición, se ajustan en función del tipo de tratamiento dermatológico, en concordancia con los principios de interacción radiación–tejido. En conclusión, el estudio permite evidenciar la importancia de integrar un enfoque de Física aplicada en la evaluación de sistemas láser médicos, mediante el análisis de sus condiciones operativas en entornos clínicos reales.

Palabras clave: Láser Q-Switched, Parámetros operativos, Física aplicada, Dermatología clínica, Variables ambientales

ABSTRACT

This Professional Competency Project presents a physical analysis of the operational parameters of a Q-switched laser system used in clinical dermatology, considering its behavior under real operating conditions.

The problem addressed is related to the limited integration of physical analysis and measurement criteria in the evaluation of these systems in clinical environments, where control is typically based only on operational settings.

The methodology followed a technical–descriptive approach, based on system observation during operation, analysis of its operational parameters, and measurement of environmental variables such as temperature and relative humidity over three consecutive clinical sessions.

The results showed that environmental conditions remained stable during system operation, supporting proper performance. In addition, operational parameters such as pulse energy and repetition rate were observed to vary according to the type of dermatological treatment, consistent with laser–tissue interaction principles.

In conclusion, this study highlights the importance of incorporating an applied physics approach in the evaluation of medical laser systems through the analysis of their operational conditions in real clinical environments.

Keywords: Q-switched laser, Operational parameters, Applied physics, Clinical dermatology, Environmental conditions

1. INTRODUCCIÓN

El uso de sistemas láser en dermatología clínica ha experimentado un crecimiento significativo debido a su eficacia en el tratamiento de diversas afecciones cutáneas, tales como lesiones pigmentarias, eliminación de tatuajes y procedimientos estéticos. En particular, los sistemas láser Q-Switched se caracterizan por la emisión de pulsos de alta energía en escalas temporales del orden de nanosegundos, lo que permite generar efectos fotoacústicos selectivos sobre el tejido biológico (Welch & Van Gemert, 2011).

El funcionamiento de estos sistemas se basa en principios físicos relacionados con la interacción radiación–tejido, la transferencia de energía y la absorción selectiva por cromóforos específicos, como la melanina. En este contexto, parámetros como la energía por pulso, la longitud de onda y la frecuencia de repetición desempeñan un papel fundamental en la eficacia del tratamiento y en la seguridad del paciente (Goldberg, 2013; De Filippis et al., 2019).

Desde una perspectiva técnica, el adecuado desempeño del sistema láser depende no solo de la configuración de estos parámetros, sino también de las condiciones en las que el equipo opera. Factores como la temperatura ambiente, la humedad relativa y el estado del sistema de enfriamiento pueden influir en la estabilidad del equipo y en la reproducibilidad de los procedimientos clínicos.

Sin embargo, en el entorno clínico real, la evaluación de estos sistemas suele centrarse en la configuración operativa del equipo, sin incorporar mediciones sistemáticas de variables físicas ni procedimientos formales de verificación metrológica. Esta situación evidencia la necesidad de integrar un enfoque de Física aplicada que permita analizar el comportamiento del sistema en condiciones reales de uso.

En este sentido, los fundamentos físicos y metrológicos previamente descritos no se abordan únicamente desde una perspectiva teórica, sino que se aplican en el presente estudio mediante la medición directa de variables ambientales y operativas en condiciones reales de

uso. A través del registro y análisis de resultados de medición, se busca evaluar la estabilidad de las condiciones de operación del sistema láser, así como verificar su conformidad con las especificaciones del fabricante. De este modo, la metrología se integra como una herramienta práctica para el control técnico del sistema en el entorno clínico.

En este contexto, el presente Trabajo de Suficiencia Profesional se orienta a evaluar metrológicamente las condiciones operativas de un sistema láser Q-Switched utilizado en un entorno clínico dermatológico, incorporando la medición de variables ambientales —como temperatura y humedad— para compararlas con las condiciones especificadas por el fabricante, así como a interpretar los parámetros operativos del sistema desde un enfoque físico.

1.1 Situación Problemática

En la práctica dermatológica contemporánea, los sistemas láser Q-Switched constituyen herramientas ampliamente utilizadas debido a su capacidad para generar efectos terapéuticos controlados en tejidos biológicos (Goldberg, 2013). Estos equipos operan mediante la emisión de pulsos de alta energía en intervalos extremadamente cortos, lo que implica el manejo preciso de parámetros físicos críticos como la energía por pulso, la longitud de onda y la frecuencia de repetición.

No obstante, en el entorno clínico real, el control técnico de estos equipos presenta limitaciones importantes. Durante la experiencia profesional desarrollada en una clínica dermatológica, se evidenció que el equipo láser es sometido principalmente a mantenimiento básico, sin contar con procedimientos de calibración formal que permitan verificar experimentalmente sus parámetros físicos de emisión.

Asimismo, para determinar la disponibilidad de servicios de calibración aplicables al equipo médico evaluado, se revisó el listado oficial de laboratorios acreditados publicado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Tras analizar el alcance de acreditación de las

empresas registradas, se identificó que no existe un procedimiento de calibración acreditado para sistemas láser biomédicos como el estudiado, evidenciando una carencia en la oferta de servicios de calibración en el ámbito biomédico (INACAL, 2026), lo que limita la implementación de un control metrológico riguroso. Esta situación genera una brecha entre los fundamentos físicos del funcionamiento del sistema láser y su evaluación práctica en el entorno clínico.

Adicionalmente, variables ambientales como la temperatura y la humedad relativa, que pueden influir en el desempeño del equipo, no suelen ser monitoreadas de manera sistemática durante la operación clínica.

En este contexto, la presente investigación se orienta a la realización de mediciones reales de variables ambientales y condiciones operativas mediante instrumentación accesible, con el fin de desarrollar una evaluación metrológica básica del sistema láser en condiciones reales de uso. Este enfoque delimita el alcance del estudio hacia la medición, registro y análisis de resultados, en contraste con evaluaciones basadas únicamente en la configuración operativa del equipo.

1.2 Motivación

La motivación del presente trabajo surge a partir de la experiencia profesional en un entorno clínico dermatológico donde se emplean sistemas láser Q-Switched. Durante esta experiencia, se observó que el control de los parámetros del equipo se realiza principalmente desde una perspectiva operativa, sin una evaluación sistemática basada en principios físicos y mediciones.

Desde la formación en Física, resulta relevante analizar estos sistemas no solo desde su funcionamiento teórico, sino también desde su comportamiento en condiciones reales, integrando criterios de medición y análisis técnico.

Asimismo, el interés por vincular la Física aplicada con el ámbito clínico motivó el

desarrollo de este estudio, con el fin de evidenciar el aporte de la física en la evaluación de tecnologías médicas y en la mejora del control técnico de los equipos utilizados en salud.

1.3 Justificación

El presente trabajo se justifica en la necesidad de fortalecer el enfoque físico en la evaluación de sistemas láser utilizados en dermatología clínica, particularmente en contextos donde no se dispone de procedimientos de calibración formal ni de infraestructura metrológica especializada.

La ausencia de laboratorios acreditados para la calibración de equipos biomédicos en el país representa una limitación para el aseguramiento metrológico de estos sistemas, lo que puede afectar la confiabilidad de sus parámetros operativos.

En este contexto, el estudio adquiere relevancia al proponer una evaluación basada en condiciones operativas reales, incorporando mediciones de variables ambientales como temperatura y humedad, las cuales influyen en la estabilidad del sistema.

Asimismo, este trabajo contribuye a evidenciar la importancia de integrar la Física aplicada en el ámbito clínico, promoviendo el desarrollo futuro de procedimientos de control técnico y calibración en equipos biomédicos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Verificar las condiciones operativas y las variables ambientales que influyen en el funcionamiento de un sistema láser Q-Switched en un entorno clínico dermatológico, incorporando principios de metrología aplicada para evaluar su estabilidad y conformidad con las especificaciones del fabricante.

1.4.2 Objetivos específicos

- Describir los fundamentos físicos que sustentan el funcionamiento de los sistemas láser Q-Switched.
- Registrar y analizar los parámetros operativos del equipo desde un enfoque físico metrológico.
- Medir variables ambientales —como temperatura y humedad relativa— durante la operación del sistema, utilizando instrumentación trazable.
- Verificar la estabilidad de las condiciones operativas mediante el análisis de los resultados de medición.
- Identificar las limitaciones existentes en la disponibilidad de servicios de calibración para equipos biomédicos en el contexto nacional y su impacto en el aseguramiento metrológico.

2. MARCO DESCRIPTIVO REFERENCIAL

2.1 Descripción de la institución

La clínica Dermalaser Estetic es un centro médico especializado en tratamientos dermatológicos y estéticos, orientado al uso de tecnologías médicas avanzadas para el cuidado de la piel. La institución se enfoca en la aplicación de procedimientos no invasivos y mínimamente invasivos, empleando equipos láser de alta precisión para el tratamiento de diversas condiciones cutáneas.

Entre los servicios que ofrece la clínica se incluyen tratamientos de eliminación de tatuajes, manejo de lesiones pigmentarias, rejuvenecimiento facial, depilación láser y otros procedimientos dermatológicos estéticos. Para ello, cuenta con equipos especializados, entre los cuales destacan sistemas láser tipo Q-Switched y láser de CO_2 fraccionado.

La clínica atiende a pacientes con fines tanto terapéuticos como estéticos, brindando servicios en un entorno controlado y bajo supervisión médica. El uso de tecnologías láser en este tipo de establecimiento requiere una adecuada comprensión de los principios físicos que rigen su funcionamiento, así como de las condiciones operativas que garantizan su correcto desempeño.

2.2 Antecedentes de la institución

La clínica Dermalaser Estetic se ha consolidado como un centro médico orientado a la implementación de tecnologías láser en el ámbito dermatológico, incorporando equipos especializados que permiten realizar tratamientos de alta precisión. Su enfoque se basa en la actualización constante de técnicas y procedimientos, así como en la incorporación de tecnologías que optimicen los resultados clínicos.

El uso de sistemas láser en la clínica responde a la creciente demanda de tratamientos dermatológicos avanzados, los cuales requieren no solo conocimientos médicos, sino también

fundamentos técnicos relacionados con la Física aplicada. En este contexto, esta clínica ha integrado el uso de equipos láser Q-Switched como parte de sus principales herramientas terapéuticas.

Sin embargo, como ocurre en muchos entornos clínicos, el control técnico de estos equipos se centra en su operación y mantenimiento básico, sin incorporar procedimientos formales de calibración o verificación metrológica, lo cual constituye una limitación en términos de control de calidad y aseguramiento de parámetros físicos.

2.3 Áreas de desarrollo profesional

La experiencia profesional se desarrolló en el área de procedimientos láser de la clínica, específicamente en el uso y evaluación del sistema láser Q-Switched aplicado a tratamientos dermatológicos.

Durante esta experiencia, se participó en la observación del funcionamiento del equipo, la configuración de parámetros operativos y el seguimiento de su desempeño en condiciones reales de uso clínico. Asimismo, se tuvo la oportunidad de analizar el comportamiento del sistema desde una perspectiva técnica, considerando los fundamentos físicos que intervienen en la interacción del láser con el tejido biológico.

Adicionalmente, se incorporó la medición de variables ambientales, como la temperatura y la humedad relativa, con el fin de evaluar las condiciones operativas del entorno en el que se utiliza el equipo. Este enfoque permitió integrar conceptos de Física aplicada y metrología básica en el análisis del sistema láser.

La experiencia desarrollada en este entorno permitió evidenciar la importancia de complementar el uso clínico de tecnologías láser con un análisis técnico que considere tanto los parámetros físicos del sistema como las condiciones en las que este opera.

3. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrollan los fundamentos conceptuales y teóricos que sustentan el análisis del sistema láser Q-Switched en un entorno clínico dermatológico. Se abordan antecedentes de investigación, principios físicos del láser, parámetros operativos, la interacción radiación–tejido y fundamentos de metrología aplicada. Finalmente, se incorporan las condiciones ambientales como variables relevantes en el desempeño del sistema en condiciones reales de operación.

3.1 Antecedentes de investigación

El uso de sistemas láser en dermatología ha sido ampliamente estudiado por su capacidad de generar efectos terapéuticos controlados en tejidos biológicos. Los láseres Q-Switched han demostrado alta eficacia en el tratamiento de lesiones pigmentarias y en la eliminación de tatuajes, debido a su capacidad de emitir pulsos de alta energía en escalas temporales del orden de nanosegundos (Goldberg, 2013). Desde una perspectiva histórica, (Takac et al., 1997) abordaron las aplicaciones de los láseres en cirugía dermatológica, evidenciando la incorporación de estas tecnologías en procedimientos orientados al tratamiento de diversas afecciones cutáneas.

Diversos estudios han analizado la relación entre los parámetros físicos del láser y sus efectos en el tejido. De Filippis et al. (2019) reportan que variables como la energía por pulso y la duración del pulso influyen directamente en procesos de regeneración cutánea. De manera complementaria, Hałasiński et al. (2023) destacan la importancia de la longitud de onda, la fluencia y la frecuencia de repetición en la eficacia terapéutica. En estudios más recientes, Yi et al. (2024) evaluaron el uso de un láser Q-switched Nd:YAG de 1064 nm en el tratamiento de hiperpigmentación infraorbitaria, evidenciando la continuidad de la aplicación de esta tecnología en procedimientos dermatológicos.

Desde una perspectiva técnica, Ohshiro et al. (2013) describen procedimientos de calibración en láseres Q-Switched, evidenciando la necesidad de controles periódicos para garantizar la estabilidad del haz. Por su parte, Welch y Van Gemert (2011) desarrollan modelos físicos de interacción radiación–tejido, explicando fenómenos de absorción, dispersión y transferencia de energía.

Finalmente de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP ISO/IEC 17025:2017, en su punto 6.3 que indica que las condiciones ambientales deben ser controladas, monitoreadas y registradas cuando puedan influir en la validez de los resultados de medición. En este estudio, se consideran las variables ambientales relevantes como la temperatura y la humedad relativa, con el fin de asegurar que el funcionamiento del sistema láser Q-Switched se evalúe bajo condiciones compatibles con los requisitos normativos aplicables a equipos de medición. Asimismo, se verifican y documentan las especificaciones ambientales de operación establecidas por el fabricante, garantizando que las instalaciones no introduzcan perturbaciones que puedan afectar el desempeño físico-operativo del equipo ni comprometer la confiabilidad de los resultados obtenidos. En conjunto, estos antecedentes evidencian la importancia del análisis físico y del control de parámetros en sistemas láser aplicados a clínica dermatológica, así como la necesidad de enfoques aplicados en entornos clínicos reales.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Fundamentos físicos del láser

El funcionamiento del láser se basa en la emisión estimulada de radiación, fenómeno descrito por Einstein, mediante el cual un fotón induce la emisión de otro con las mismas características de frecuencia, fase y dirección. Este proceso permite la amplificación coherente de la radiación electromagnética (Svelto, 2010).

El sistema láser utiliza un resonador óptico, compuesto por espejos, que permite la amplificación de la radiación dentro de un medio activo previamente excitado. Este proceso da lugar a un haz altamente direccional y coherente.

Entre las principales características del láser se encuentran la coherencia, la monocromaticidad, la direccionalidad y la alta densidad de energía, propiedades que lo hacen adecuado para aplicaciones médicas de alta precisión (Goldberg, 2013).

3.2.2 Principio físico del Q-Switching

El Q-Switching es una técnica que permite almacenar energía en el medio activo y liberarla en forma de pulsos de alta intensidad mediante la modulación del factor de calidad del resonador.

Estos sistemas generan pulsos del orden de nanosegundos, lo que produce altas potencias pico, fundamentales para generar efectos fotoacústicos en el tejido (Goldberg, 2013). Los láseres Q-Switched son ampliamente utilizados en dermatología para la eliminación de tatuajes y el tratamiento de lesiones pigmentarias.

3.2.3 Parámetros físicos en sistemas láser médicos

Los sistemas láser operan mediante parámetros físicos que determinan las características energéticas del haz y su interacción con el medio irradiado. Desde un enfoque metrológico, estos parámetros permiten describir el comportamiento operativo del sistema y constituyen variables relevantes para su evaluación técnica.

La energía por pulso representa la cantidad de energía emitida en cada emisión del sistema láser, influyendo directamente en la transferencia energética del haz (De Filippis et al., 2019).

La longitud de onda determina las características de propagación y absorción del haz en distintos medios, dependiendo de la afinidad con determinados cromóforos biológicos (Welch & Van Gemert, 2011).

La frecuencia de repetición indica el número de pulsos emitidos por segundo y se relaciona con la velocidad de operación y la energía total administrada por unidad de tiempo (Goldberg, 2013).

La fluencia, o densidad de energía, se define como la energía aplicada por unidad de área:

$$F = \frac{E}{A} \quad (1)$$

Donde:

- F: $fluencia\ (J/cm^2)$
- E: $energía\ por\ pulso\ (J)$
- A: $área\ irradiada\ (cm^2)$

Este parámetro es determinante en la eficacia del tratamiento (Welch & Van Gemert, 2011) ya que permite relacionar la distribución energética del haz con la superficie de aplicación y constituye una variable relevante en la caracterización física del sistema.

Asimismo, la potencia promedio del sistema puede expresarse como:

$$P = E.f \quad (2)$$

Donde:

- P: $potencia\ promedio\ (W)$
- E: $energía\ por\ pulso\ (J)$
- f: $frecuencia\ de\ repetición\ (Hz)$

Esta relación permite estimar la energía transferida por unidad de tiempo durante el funcionamiento del sistema láser. (Goldberg, 2013).

Adicionalmente, la intensidad del haz puede describirse mediante:

$$\boldsymbol{I = \frac{P}{A}} \tag{3}$$

lo que permite analizar la distribución de energía sobre el tejido.

Donde:

- I: $intensidad\ del\ haz(\ W/cm^2)$
- P: $potencia\ promedio(\ W)$
- A: $área\ irradiada\ (cm^2)$

La intensidad representa la concentración espacial de potencia sobre el área irradiada y constituye un parámetro útil para el análisis físico-operativo del sistema.

Finalmente, la estabilidad del haz es un aspecto relevante desde el enfoque metrológico, debido a su relación con la reproducibilidad de los parámetros operativos y la uniformidad del funcionamiento del sistema (Ohshiro et al., 2013). Las relaciones físicas presentadas corresponden a modelos teóricos utilizados para describir el comportamiento energético y operativo de sistemas láser médicos desde un enfoque físico-metrológico. En el presente estudio, estas expresiones se emplean como referencia conceptual para la interpretación técnica del funcionamiento del sistema evaluado.

3.2.4 Interacción de la radiación láser con el tejido biológico

La interacción láser–tejido se basa en procesos de absorción y dispersión. La absorción ocurre cuando la energía del láser es captada por cromóforos, mientras que la dispersión implica la desviación del haz en el tejido (Welch & Van Gemert, 2011).

La energía absorbida se transforma en energía térmica, generando efectos como coagulación, vaporización o fragmentación de estructuras.

El principio de Fototermólisis selectiva describe la destrucción controlada de estructuras específicas mediante la selección adecuada de la longitud de onda y la duración del pulso (Goldberg, 2013).

3.2.5 Fundamentos de metrología aplicada

La metrología aplicada comprende el estudio de la medición de magnitudes físicas y la confiabilidad de los resultados obtenidos (JCGM, 2012). El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) constituye una referencia fundamental para la terminología metrológica y ha experimentado una evolución orientada a consolidar y actualizar los conceptos empleados en el ámbito de la metrología (Mari, 2014). Entre sus conceptos fundamentales se encuentran la medición, la exactitud, la precisión y la trazabilidad metrológica, los cuales permiten evaluar la calidad de los datos registrados en un proceso técnico o clínico.

La trazabilidad metrológica se define como la propiedad de un resultado de medición por la cual puede relacionarse con un patrón de referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición (JCGM, 2012). Esta propiedad garantiza que los valores obtenidos puedan vincularse con estándares nacionales o internacionales, otorgando confiabilidad y comparabilidad a los resultados.

En el caso de los sistemas láser biomédicos, no existen procedimientos de calibración establecidos que permitan generar trazabilidad metrológica del haz láser. Por ello, el aseguramiento metrológico posible se orienta al control de las condiciones ambientales de operación, las cuales sí pueden medirse mediante instrumentos calibrados y trazables.

En el presente estudio, las mediciones de temperatura y humedad relativa se realizaron utilizando instrumentos previamente calibrados y con trazabilidad vigente, lo que garantiza que

los valores registrados pueden relacionarse con patrones nacionales o internacionales. De este modo, la trazabilidad se aplica exclusivamente a las magnitudes ambientales, permitiendo verificar que el equipo opere dentro de los rangos recomendados por el fabricante y asegurando la confiabilidad de los datos obtenidos.

Este enfoque constituye una forma de aseguramiento metrológico básico, pertinente en contextos donde no existen métodos formales de calibración para el equipo evaluado. Así, la metrología se integra como una herramienta práctica para el análisis físico operativo del sistema láser en condiciones reales de uso clínico.

3.2.6 Verificación operativa y concepto de calibración en el contexto del estudio

Según el Vocabulario Internacional de Metrología (JCGM, 2012), la calibración es un proceso mediante el cual se establece la relación entre los valores indicados por un instrumento y los valores correspondientes proporcionados por un patrón de referencia. Este proceso permite obtener los resultados de medición junto con sus respectivas incertidumbres de medición —entendidas como la variabilidad asociada al resultado obtenido—, identificar posibles desviaciones y contribuir a la trazabilidad metrológica del instrumento (JCGM, 2008).

En el caso de los sistemas láser biomédicos, no existen procedimientos de calibración establecidos ni laboratorios acreditados que permitan evaluar formalmente los parámetros físicos del haz, tales como energía por pulso, fluencia o potencia pico. Esta ausencia limita la posibilidad de aplicar calibración en el sentido metrológico estricto.

Por ello, el aseguramiento metrológico posible se orienta a la verificación operativa, entendida como la confirmación de que el equipo funciona dentro de las condiciones especificadas por el fabricante y bajo un entorno controlado. Este enfoque es coherente con lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP ISO/IEC 17025:2017 — Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, la cual señala que las

condiciones ambientales deben ser controladas, monitoreadas y registradas cuando puedan influir en la validez de los resultados.

En este estudio, dicha verificación se realiza mediante la medición de variables ambientales —temperatura y humedad relativa— utilizando instrumentos calibrados y trazables, lo que permite asegurar que el equipo opera en condiciones compatibles con sus requisitos técnicos.

3.2.7 Variables ambientales en sistemas láser

En el presente estudio se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa durante la operación del sistema láser, utilizando instrumentos calibrados y trazables. Los valores registrados fueron comparados con las condiciones ambientales de operación especificadas por el fabricante, presentadas en la Tabla 1, con el fin de verificar la compatibilidad del entorno clínico con los requisitos técnicos del equipo. Esta verificación constituye el aseguramiento metrológico mínimo aplicable al sistema evaluado.

Tabla 1

Condiciones ambientales de operación del sistema láser Q-Switched

Condiciones ambientales	**Temperatura**	**Humedad relativa**
Rango de operación	10 °C a 30 °C	30 %HR a 70 %HR

Nota. Adaptado de *Manual del usuario del dispositivo de eliminación de tatuajes con láser Nd:YAG*, Beijing Sincoheren Science and Technology Development Co. Ltd., 2018.

4. METODOLOGÍA Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Datos

El presente estudio se desarrolló en un entorno clínico dermatológico real, específicamente en la clínica Dermalaser Estetic, donde se emplea un sistema láser Q-Switched para tratamientos estéticos y terapéuticos.

A diferencia de enfoques experimentales controlados, los datos considerados en este trabajo corresponden a variables ambientales medidas durante la operación del equipo, así como a parámetros operativos observados en la interfaz del sistema láser.

Las mediciones se realizaron durante tres jornadas clínicas consecutivas, con el objetivo de evaluar la estabilidad de las condiciones de operación del equipo en su entorno real de uso.

En este contexto, se consideraron las siguientes variables, observadas a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2

Variables evaluadas en el estudio

Variable	Unidad	Método de medición	Tipo
Temperatura ambiente	°C	Termohigrómetro digital	Cuantitativa
Humedad relativa	%	Termohigrómetro digital	Cuantitativa
Temperatura del sistema	°C	Medición indirecta con sonda	Cuantitativa
Tensión Eléctrica	V	Multímetro digital	Cuantitativa

4.2 Metodología

La metodología adoptada corresponde a un enfoque **técnico–descriptivo**, basado en la observación del funcionamiento del sistema láser en condiciones reales de uso clínico, complementado con la medición de variables accesibles en el entorno.

La evaluación se estructuró en cuatro componentes:

- Control ambiental
- Control eléctrico básico
- Análisis de parámetros operativos del sistema
- Verificación de condiciones de seguridad

Se realizaron mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa mediante un termohigrómetro digital, así como una estimación de la temperatura del sistema de enfriamiento mediante un termómetro de sonda aplicado de forma indirecta sobre superficies accesibles del equipo.

Adicionalmente, se efectuó una medición básica del voltaje del suministro eléctrico mediante un multímetro digital, con el fin de verificar condiciones eléctricas del entorno clínico.

Las mediciones se efectuaron antes y después de la jornada clínica durante tres días consecutivos, registrando los valores obtenidos en tablas de control. Los formatos de registro utilizados durante las jornadas clínicas se presentan en los Anexos A–F, donde se documentan las mediciones ambientales y térmicas realizadas durante la operación del sistema láser Q-Switched.

Asimismo, se realizó la observación de los parámetros operativos del sistema láser, tales como la energía por pulso y la frecuencia de repetición, a partir de la interfaz del equipo, sin efectuar mediciones instrumentales directas de estos parámetros.

El análisis de los datos se desarrolló mediante estadística descriptiva básica, considerando el cálculo de promedio, rango y variación térmica (ΔT).

4.3 Diseño experimental

El estudio corresponde a un diseño de tipo descriptivo–observacional, desarrollado en un entorno clínico real sin intervención directa sobre el sistema láser (Hałasiński et al., 2023).

Las mediciones se realizaron bajo condiciones normales de operación del equipo, sin modificar los parámetros configurados para los tratamientos.

Se estableció un esquema de registro:

- Antes de la jornada clínica
- Después de la jornada clínica

La temperatura del sistema se registró únicamente al finalizar cada jornada, considerando que en este momento el equipo alcanza condiciones representativas de operación.

4.4 Técnicas utilizadas

Las técnicas empleadas en el presente estudio incluyen:

- Observación técnica del funcionamiento del sistema láser
- Medición de variables ambientales (temperatura y humedad)
- Medición básica de voltaje eléctrico
- Registro sistemático de datos en tablas de control
- Análisis descriptivo de los datos obtenidos

Estas técnicas permiten evaluar el desempeño del sistema en condiciones reales, integrando medición básica con análisis técnico.

4.5 Instrumento de evaluación técnica

Para la recolección de datos se emplearon los siguientes instrumentos:

- **Termohigrómetro digital:** utilizado para la medición de temperatura ambiente (°C) y humedad relativa (%HR).

- **Termómetro digital con sonda:** empleado para la estimación de la temperatura del sistema de enfriamiento mediante medición indirecta.
- **Multímetro digital:** utilizado de manera complementaria para la verificación de condiciones eléctricas básicas del equipo.

Los instrumentos utilizados corresponden a equipos de medición básica, adecuados para el registro de variables ambientales en un entorno clínico.

La evidencia fotográfica de los instrumentos utilizados durante las mediciones se presenta en el Anexo H, mientras que la evidencia experimental correspondiente a las jornadas clínicas evaluadas se incluye en el Anexo I.

4.6 Descripción del sistema láser Q-Switched

El sistema láser Q-Switched analizado corresponde a un dispositivo utilizado en dermatología clínica para el tratamiento de lesiones pigmentarias y eliminación de tatuajes. El uso de sistemas Q-switched Nd:YAG de 1064 nm también ha sido estudiado en aplicaciones dermatológicas relacionadas con alteraciones pigmentarias (Yi et al., 2024). Este tipo de láser se caracteriza por la emisión de pulsos de alta energía en intervalos de tiempo extremadamente cortos, generalmente del orden de nanosegundos, lo que permite generar efectos fotoacústicos y fototérmicos selectivos en los tejidos biológicos (Goldberg, 2013).

El funcionamiento del sistema se basa en la modulación del factor de calidad del resonador óptico, permitiendo la acumulación de energía en el medio activo y su liberación en forma de pulsos de alta intensidad.

El equipo presenta un panel de control digital que permite la selección de parámetros operativos, así como un aplicador manual mediante el cual se transmite la radiación láser hacia el tejido.

Asimismo, cuenta con un sistema de enfriamiento que contribuye a mantener la estabilidad térmica durante su funcionamiento.

Figura 1

Sistema láser Q-Switched utilizado en dermatología clínica, mostrando el panel de control y el aplicador del equipo durante su operación.



Los parámetros físicos del sistema láser son variables fundamentales que influyen en la calidad y eficacia de los procedimientos dermatológicos. La energía por pulso y la fluencia determinan la cantidad de energía transferida al tejido, influyendo en la capacidad de generar efectos fotoacústicos adecuados para la fragmentación de pigmentos. Por otro lado, la longitud de onda define la profundidad de penetración del haz láser y su afinidad con determinados cromóforos presentes en la piel.

Asimismo, la frecuencia de repetición y la estabilidad del haz influyen en la uniformidad del tratamiento. Variaciones en estos parámetros pueden generar resultados heterogéneos o efectos no deseados en el tejido.

Desde el punto de vista físico, el control de estas variables permite que la interacción radiación–tejido ocurra de manera controlada y reproducible. A continuación, se presenta una síntesis de los principales parámetros operativos del sistema láser (Tabla 3):

Tabla 3

Parámetros operativos del sistema láser Q-Switched

Parámetro	Descripción	Importancia
Energía por pulso	Energía emitida en cada pulso	Determina efecto en el tejido
Longitud de onda	Tipo de radiación emitida	Define absorción en cromóforos
Fluencia	Energía por unidad de área	Controla la densidad energética
Frecuencia	Número de pulsos por segundo	Influye en la repetición del tratamiento

Las especificaciones técnicas y ambientales del sistema láser evaluado se presentan en el Anexo J, correspondiente al manual técnico del fabricante.

4.6.1 Aplicaciones clínicas observadas

El sistema láser Q-Switched presenta diferentes configuraciones operativas según el tipo de tratamiento dermatológico aplicado. Durante el desarrollo de la experiencia profesional, se observaron las siguientes aplicaciones clínicas:

- Eliminación de tatuajes (cejas y otras zonas)
- Tratamiento de lesiones pigmentarias
- Procedimientos dermatológicos específicos

Con el fin de evidenciar la configuración operativa del sistema láser en distintos procedimientos dermatológicos, se presentan las interfaces del equipo correspondientes a diferentes tratamientos (véanse Figuras 2–5).

Figura 2

Configuración del sistema láser para eliminación de tatuajes de cejas.



Figura 3

Configuración del sistema láser para eliminación de marcas de nacimiento.



Figura 4

Configuración del sistema láser para el tratamiento facial (*Black Doll)*



Figura 5.

Configuración del sistema láser para eliminación de tatuajes.



5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Presentación del análisis, interpretación y discusión de resultados

El análisis se realizó en un entorno clínico real durante tres jornadas consecutivas, considerando la medición de variables ambientales y la observación de parámetros operativos del sistema láser Q-Switched. Las mediciones se efectuaron antes y después de cada jornada, con el objetivo de evaluar la estabilidad de las condiciones de operación.

5.1.1 Resultados de variables ambientales

Tabla 4

Registro de temperatura ambiente y humedad relativa

Día	Registro	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Día 1	Inicial	26,3 °C	61 %
Día 1	Final	26,1 °C	60 %
Día 2	Inicial	26,0 °C	48 %
Día 2	Final	24,6 °C	49 %
Día 3	Inicial	25,0 °C	50 %
Día 3	Final	25,6 °C	51 %

Análisis

Los resultados muestran que la temperatura ambiente se mantuvo en un rango de **24,6 °C a 26,3 °C**, mientras que la humedad relativa varió entre **48 % y 61 %** durante las jornadas evaluadas.

No se observaron variaciones abruptas entre las mediciones antes y después de cada jornada, lo que indica condiciones ambientales relativamente estables durante la operación del

sistema láser y además se mantuvieron dentro de las condiciones ambientales especificadas por el fabricante.

El detalle completo de los registros ambientales realizados durante cada jornada clínica se presenta en los Anexos A, C y E.

5.1.2 Resultados de temperatura del sistema láser Q-Switched

Tabla 5

Temperatura del sistema láser Q-Switched

Día	Registro	Temperatura (°C)
Día 1	Inicial	26,6
Día 1	Final	27,7
Día 2	Inicial	23,4
Día 2	Final	23,9
Día 3	Inicial	24,2
Día 3	Final	24,0

Análisis

La temperatura del sistema, estimada de forma indirecta sobre la superficie externa del equipo mediante sonda térmica, presentó un rango térmico entre **23,4 °C** y **27,7 °C** durante las jornadas evaluadas.

Se observó una mayor elevación térmica en la jornada realizada sin aire acondicionado, mientras que en las jornadas con control ambiental mediante aire acondicionado el sistema mantuvo valores más estables.

Estos resultados sugieren que las condiciones ambientales del entorno clínico influyen en el comportamiento térmico operativo del sistema láser Q-Switched, evidenciando además un adecuado funcionamiento del sistema de enfriamiento incorporado.

El detalle completo de los registros de temperatura del sistema láser Q-Switched realizados durante cada jornada clínica se presenta en los Anexos B, D y F.

5.1.3 Control Eléctrico

Tabla 6

Registro de Tensión Eléctrica del suministro eléctrico

Día	Hora	Tensión Eléctrica (V)	Estado del equipo	Observaciones
Día 1	16 h 45 min	219 V	Encendido	Funcionamiento estable
Día 2	11 h 07 min	220 V	Encendido	Funcionamiento estable
Día 3	15 h 00 min	220 V	Encendido	Funcionamiento estable

Análisis

La tensión eléctrica del suministro eléctrico se mantuvo dentro de valores estables durante las jornadas evaluadas, registrándose valores entre 219 V y 220 V.

No se evidenciaron fluctuaciones significativas que pudieran comprometer el funcionamiento operativo del sistema láser Q-Switched, observándose compatibilidad con los requisitos eléctricos especificados por el fabricante.

La evidencia complementaria del registro eléctrico y verificación de seguridad operativa se presenta en el Anexo G.

5.1.4 Verificación de condiciones de seguridad

Durante la operación del sistema láser, se verificó el cumplimiento de medidas básicas de seguridad, incluyendo el uso de gafas de protección por parte del operador durante los procedimientos clínicos.

Estas medidas son fundamentales para reducir la exposición a la radiación láser y garantizar condiciones seguras de trabajo.

Tabla 7

Verificación de seguridad

Día	Uso de gafas	Tipo de gafas	Estado	Observaciones
Día 1	Sí	Nd:YAG / 1064 nm	Bueno	Uso durante procedimientos
Día 2	Sí	Nd:YAG / 1064 nm	Bueno	Protección visual adecuada
Día 3	Sí	Nd:YAG / 1064 nm	Bueno	Uso continuo durante operación

Análisis:

Durante las jornadas evaluadas se verificó el uso de gafas de protección compatibles con sistemas láser Nd:YAG de 1064 nm.

Las gafas se encontraron en buen estado y fueron utilizadas durante los procedimientos clínicos, contribuyendo al cumplimiento de condiciones básicas de seguridad operativa.

5.1.5 Resultados de parámetros operativos observados

Durante la operación clínica del sistema láser Q-Switched, se observaron los siguientes valores operativos en la interfaz del equipo:

- Frecuencia de repetición: aproximadamente **9 Hz a 10 Hz**
- Energía por pulso: aproximadamente **930 mJ a 2000 mJ**

Tabla 8

Parámetros operativos observados en entorno clínico

Tratamiento observado	Frecuencia (Hz)	Energía por pulso (mJ)	Observación técnica
Terapia de pigmentación (melasma)	10 Hz	1080 mJ	Configuración dentro de rango clínico
Eliminación de marcas de nacimiento	10 Hz	1990 mJ	Alta energía para mayor penetración
Eliminación de tatuajes de cejas	10 Hz	1200 mJ	Adecuado para pigmentos superficiales
Eliminación de tatuajes	9 Hz	2000 mJ	Energía elevada para fragmentación
Tratamiento facial (Black Doll)	10 Hz	930 mJ	Energía moderada

Análisis

Los resultados evidencian que el sistema permite la adaptación de sus parámetros operativos según el tipo de tratamiento dermatológico, lo cual es coherente con su aplicación clínica.

5.1.6 Análisis metrológico descriptivo de variables ambientales y operativas

Con el fin de complementar la evaluación técnica del sistema láser Q-Switched en entorno clínico real, se realizó un análisis descriptivo de las variables ambientales y operativas registradas durante las jornadas evaluadas.

Para ello, se consideraron las mediciones de temperatura ambiente, humedad relativa y temperatura del sistema, incorporando herramientas básicas de estadística descriptiva como promedio, rango y variación térmica (ΔT), además de su representación gráfica.

5.1.6.1 Análisis de temperatura ambiente

Tabla 9

Datos registrados de temperatura ambiente

Día	Temperatura Inicial	Temperatura Final
Día 1	26,3 °C	26,1 °C
Día 2	26,0 °C	24,6 °C
Día 3	25,0 °C	25,6 °C

- **PROMEDIO:**

$$T = \frac{26{,}3\ °C + 26{,}1\ °C + 26{,}0\ °C + 24{,}6\ °C + 25{,}0\ °C + 25{,}6\ °C}{6} = 25{,}6\ °C$$

Por tanto, la **temperatura ambiente promedio es 25,6 ° C.**

- **RANGO**

Máximo: 26,3 °C

Mínimo: 24,6 °C

$$\mathrm{R} = 26{,}3\ °C - 24{,}6\ °C = 1{,}7\ ℃$$

Por tanto, el **rango es 1,7 °C.**

5.1.6.2 Análisis de humedad relativa del ambiente

Tabla 10

Datos registrados de la humedad relativa del ambiente

Día	Humedad Relativa Inicial	Humedad Relativa Final
Día 1	61 %	60 %
Día 2	48 %	49 %
Día 3	50 %	51 %

- **PROMEDIO:**

$$\bar{H} = \frac{61\ \% + 60\ \% + 48\ \% + 49\ \% + 50\ \% + 51\ \%}{6} = 53{,}2\ \%$$

Por tanto, el **promedio de humedad relativa es 53,2 %**

- **RANGO:**

$$R = 61\ \% - 48\ \% = 13\ \%$$

Por tanto, el **rango de humedad relativa es 13%.**

5.1.6.3 Análisis de temperatura del sistema láser Q-Switched

Tabla 11

Datos registrados de temperatura del sistema láser Q-Switched

Día	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)
Día 1	26,6	27,7
Día 2	23,4	23,9
Día 3	24,2	24,0

PROMEDIO

$$T = \frac{26{,}6\ °\text{C} + 27{,}7°\text{C} + 23{,}4\ °\text{C} + 23{,}9\ °\text{C} + 24{,}2\ °\text{C} + 24{,}0\ °\text{C}}{6} = 25{,}0\ °\text{C}$$

La temperatura promedio del sistema es 25,0 °C.

- **RANGO**

$$R = 27{,}7\ °\text{C} - 23{,}4\ °\text{C} = 4{,}3\ °C$$

Por tanto, el **rango temperatura del sistema es 4,3 °C.**

Variación térmica del sistema láser Q-Switched (ΔT):

Para determinar la variación térmica del sistema láser Q-Switched, se consideró la diferencia entre la temperatura final y la temperatura inicial registrada para el propio sistema durante cada jornada:

$$\Delta T_{Día} = T_{final} - T_{inicial}$$

$$\Delta T_{Día\ 1} = 27{,}7\ °\text{C} - 26{,}6°\text{C} = 1{,}1\ °C$$

$$\Delta T_{Día\ 2} = 23{,}9\ °\text{C} - 23{,}4\ °\text{C} = 0{,}5\ °C$$

$$\Delta T_{Día\ 3} = 24{,}0\ °\text{C} - 24{,}2\ °\text{C} = -\ 0{,}2\ °C$$

El análisis descriptivo de las variables ambientales mostró una temperatura promedio de 25,6°C y una humedad relativa promedio de 53,2 % durante las jornadas evaluadas.

La temperatura ambiente presentó un rango de variación de 1,7 °C, mientras que la humedad relativa varió en un rango de 13 %, evidenciando condiciones ambientales relativamente estables en el entorno clínico.

Respecto a la temperatura del sistema láser Q-Switched, se obtuvo un valor promedio de 25,0 °C y un rango térmico de 4,3 °C considerando los registros obtenidos durante las jornadas evaluadas.

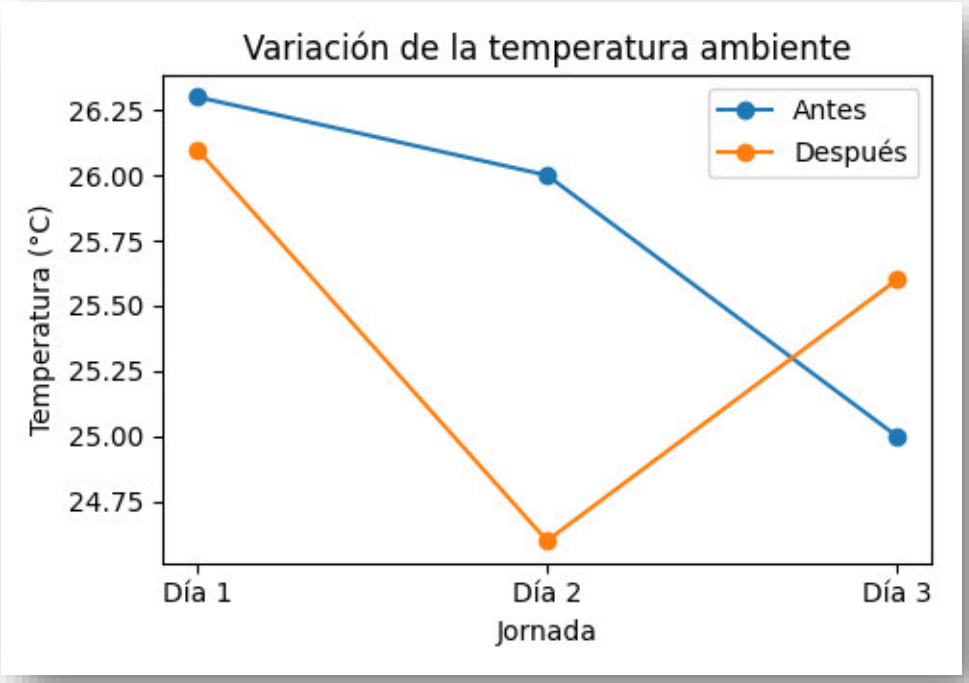
Asimismo, la variación térmica (ΔT) mostró un incremento de 1,1 °C en la primera jornada, mientras que en la segunda jornada se registró un incremento de 0,5 °C y en la tercera jornada una disminución de 0,2 °C respecto a la temperatura inicial.

5.1.6.4 Representación gráfica de variables ambientales

Estos resultados sugieren una posible influencia de las condiciones ambientales del entorno clínico sobre la estabilidad térmica operativa del sistema láser.

Figura 6

Variación de la temperatura ambiente durante las jornadas evaluadas

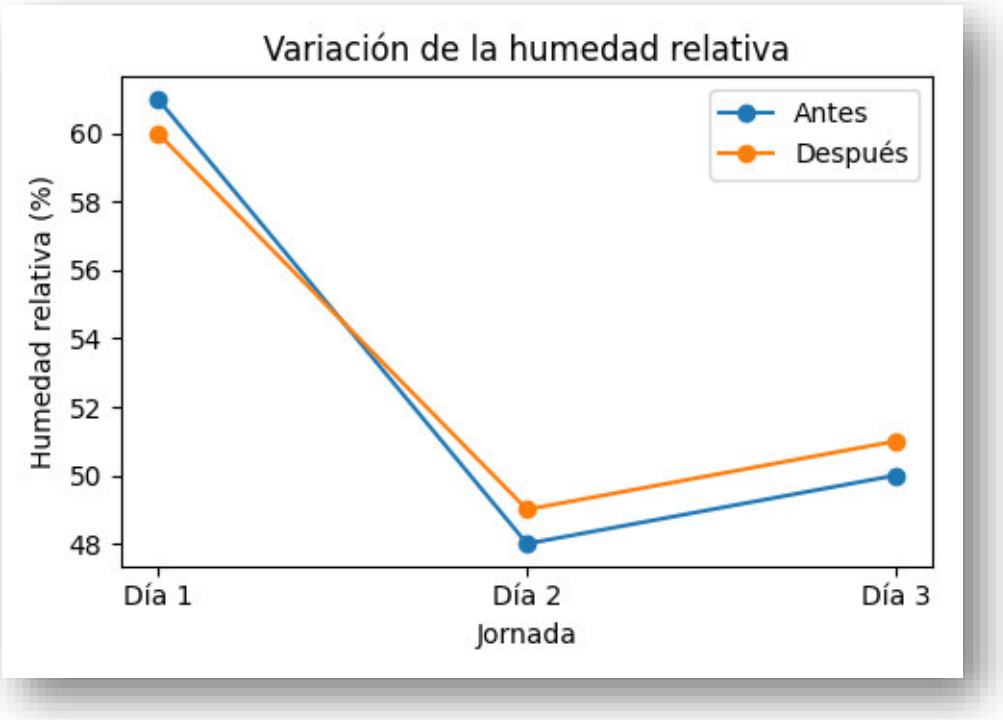


Nota. Estos resultados sugieren que las condiciones ambientales del entorno clínico influyen en la estabilidad térmica operativa del sistema láser.

Se observó una disminución de la temperatura ambiente en las jornadas realizadas con aire acondicionado, evidenciando condiciones ambientales más estables respecto a la primera jornada evaluada.

Figura 7

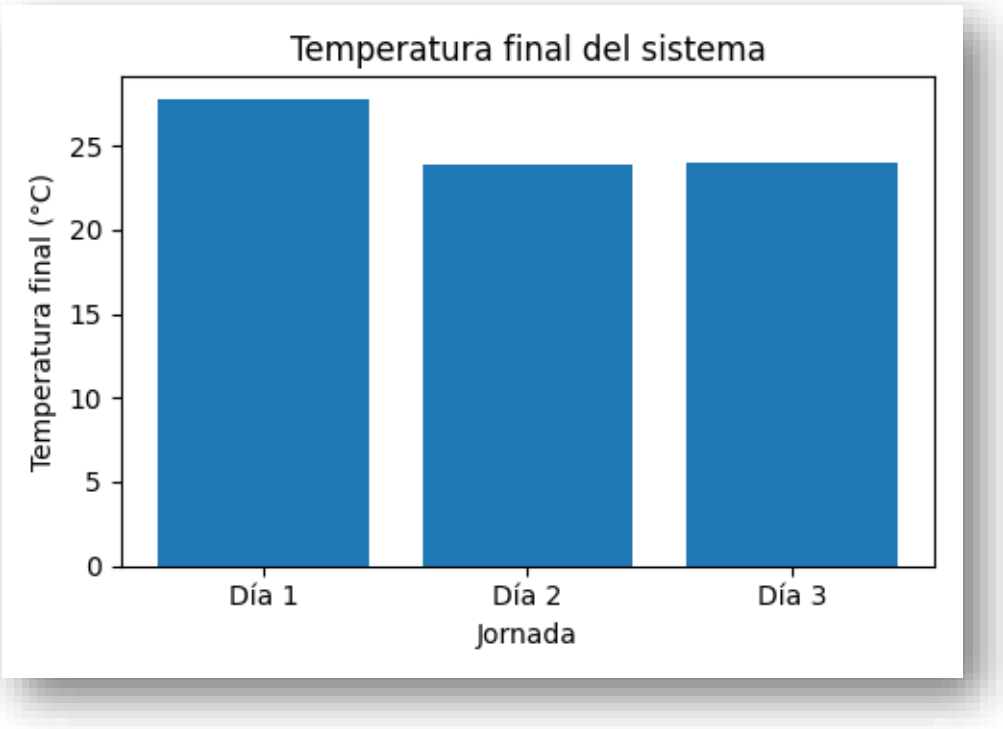
Variación de la humedad relativa durante las jornadas evaluadas



Nota. La humedad relativa presentó menores valores durante las jornadas con aire acondicionado, manteniéndose dentro de rangos relativamente estables durante la operación clínica del sistema láser.

Figura 8

Temperatura final del sistema láser Q-Switched por jornada



Nota. La mayor temperatura final del sistema se registró durante la primera jornada, correspondiente a la condición sin aire acondicionado. Las jornadas realizadas con aire acondicionado presentaron temperaturas finales menores.

5.2 Interpretación de resultados

Desde el punto de vista físico, la estabilidad de la temperatura y la humedad relativa es relevante debido a su influencia sobre el funcionamiento de los sistemas electrónicos y de enfriamiento del equipo láser Q-Switched. Variaciones significativas en estas variables podrían afectar la disipación térmica y la estabilidad de los parámetros operativos del sistema. En las jornadas evaluadas, las condiciones ambientales se mantuvieron dentro de rangos relativamente estables, registrándose temperaturas entre 24,6 °C y 26,3 °C, y humedades relativas entre 48 % y 61 %, valores compatibles con las especificaciones ambientales indicadas por el fabricante.

Asimismo, el comportamiento térmico registrado en el sistema láser evidenció estabilidad operativa durante las jornadas evaluadas.

Además, se observó una mayor estabilidad térmica del sistema durante las jornadas realizadas con aire acondicionado, evidenciándose menores variaciones de temperatura respecto a la jornada sin control ambiental. La variación térmica máxima registrada en el sistema fue de 1,1 °C, correspondiente a la primera jornada. Las variaciones observadas en las jornadas posteriores fueron menores, con un incremento de 0,5 °C y una disminución de 0,2 °C, respectivamente. Estos resultados sugieren una posible influencia de las condiciones ambientales sobre el comportamiento térmico del sistema, sin establecer una relación causal debido al carácter descriptivo de la evaluación.

Desde un enfoque metrológico, el monitoreo de variables ambientales y operativas permitió incorporar un control básico de las condiciones de funcionamiento del sistema láser en entorno dermatológico, utilizando instrumentación accesible y procedimientos de medición descriptivos.

Por otro lado, la variación de la energía por pulso en función del tipo de tratamiento refleja la necesidad de ajustar la transferencia de energía al tejido biológico, lo cual está directamente relacionado con los mecanismos de interacción radiación–tejido, como los efectos fotoacústicos utilizados en la fragmentación de pigmentos (Welch & Van Gemert, 2011).

5.3 Evaluación técnica del sistema

La evaluación del sistema se realizó desde un enfoque técnico–operativo, considerando tanto las condiciones ambientales como la observación de los parámetros configurados en el equipo.

Si bien no se realizaron mediciones instrumentales directas de parámetros como la energía por pulso o la fluencia, el análisis de las condiciones de operación permite inferir un comportamiento estable del sistema durante su uso clínico.

Este enfoque es coherente con el contexto del estudio, desarrollado en un entorno clínico real con instrumentación de medición básica.

5.4 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos evidencian que el sistema láser Q-Switched operó bajo condiciones ambientales y parámetros operativos compatibles con las especificaciones técnicas establecidas por el fabricante, observándose un comportamiento térmico estable durante las jornadas evaluadas.

La temperatura ambiente se mantuvo dentro de un rango de 24,6 °C a 26,3 °C, mientras que la humedad relativa osciló entre 48 % y 61 %, valores que corresponden a condiciones operativas adecuadas para el funcionamiento del sistema. Asimismo, se observó una mayor estabilidad térmica del equipo durante las jornadas realizadas con aire acondicionado, registrándose menores variaciones térmicas respecto a la jornada sin control ambiental. La variación térmica máxima observada fue de **1,1 °C**, correspondiente a la primera jornada, mientras que en las jornadas posteriores se registraron variaciones de **0,5 °C y −0,2 °C**, respectivamente. Este comportamiento sugiere una posible influencia de las condiciones ambientales sobre la respuesta térmica del sistema y es compatible con un funcionamiento adecuado del sistema de enfriamiento incorporado en el equipo.

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos sobre la importancia de las condiciones operativas y ambientales en sistemas láser dermatológicos (Goldberg, 2013; Hałasiński et al., 2023). Diversos autores señalan que la interacción radiación–tejido y la

estabilidad de los parámetros operativos pueden verse influenciadas por factores ambientales y condiciones reales de uso clínico (De Filippis et al., 2019; Welch & Van Gemert, 2011).

Desde un enfoque metrológico, el presente estudio incorporó mediciones ambientales y operativas mediante instrumentación accesible, incluyendo un termohigrómetro calibrado con trazabilidad metrológica. Esto permitió desarrollar un análisis descriptivo básico de estabilidad térmica y condiciones ambientales durante la operación del sistema.

No obstante, el estudio presenta limitaciones relacionadas con la imposibilidad de realizar mediciones instrumentales directas de parámetros internos del láser, como energía real emitida, potencia óptica o duración de pulso, debido a restricciones operativas y a la ausencia de instrumentación especializada disponible en el entorno clínico evaluado.

Adicionalmente, en el contexto nacional aún existe limitada disponibilidad de servicios acreditados para la calibración de sistemas láser biomédicos, lo cual representa un desafío para el fortalecimiento del control metrológico aplicado a tecnologías médicas.

En este sentido, el presente trabajo aporta un enfoque aplicado de Física y metrología básica orientado al monitoreo de condiciones operativas reales, contribuyendo al análisis técnico de sistemas láser utilizados en dermatología clínica.

6. IMPACTOS

6.1 Propuesta para la solución del problema

A partir del análisis realizado en el presente estudio, se propone la incorporación de un esquema básico de control técnico para sistemas láser Q-Switched utilizados en dermatología clínica, basado en la evaluación de condiciones operativas y variables ambientales.

Esta propuesta se fundamenta en la necesidad de fortalecer el control del funcionamiento del equipo en entornos clínicos reales, considerando las limitaciones actuales relacionadas con la ausencia de procedimientos de calibración formal y la disponibilidad restringida de laboratorios acreditados para equipos biomédicos en el contexto nacional.

En este sentido, se plantea la implementación de un registro sistemático de variables ambientales, tales como la temperatura y la humedad relativa, las cuales pueden influir en la estabilidad del sistema, particularmente en sus componentes electrónicos y de enfriamiento.

Asimismo, se propone complementar este control con la observación periódica de los parámetros operativos del equipo, registrados desde la interfaz del sistema, permitiendo identificar posibles variaciones en su comportamiento durante la práctica clínica.

Este enfoque constituye una alternativa viable en entornos donde no se dispone de instrumentación especializada, permitiendo establecer un control técnico básico que contribuya a la estabilidad operativa del equipo.

6.2 Beneficios que aporta la propuesta

La implementación de un esquema de control técnico basado en el monitoreo de condiciones operativas y variables ambientales presenta diversos beneficios en el ámbito clínico.

En primer lugar, permite mejorar la estabilidad del funcionamiento del sistema láser, al identificar posibles variaciones en el entorno que puedan afectar su desempeño. Esto contribuye

a una mayor consistencia en la aplicación de los tratamientos dermatológicos.

En segundo lugar, favorece la seguridad en el uso del equipo, ya que el seguimiento de condiciones ambientales permite prevenir situaciones que puedan comprometer su funcionamiento adecuado.

Asimismo, esta propuesta promueve la integración de criterios de Física aplicada en el entorno clínico, evidenciando la importancia de considerar variables físicas en la operación de tecnologías médicas.

Finalmente, el presente enfoque puede constituir una base para el desarrollo futuro de procedimientos más avanzados de control y calibración de equipos biomédicos, en concordancia con iniciativas orientadas a fortalecer la infraestructura metrológica en el país.

7. CONCLUSIONES

1. Las condiciones ambientales registradas durante la operación del sistema láser Q-Switched se mantuvieron dentro de los rangos especificados por el fabricante, establecidos entre 10 °C y 30 °C para la temperatura y entre 30 %HR y 70 %HR para la humedad relativa. Durante las tres jornadas evaluadas, la temperatura ambiente presentó un rango de 24,6 °C a 26,3 °C y la humedad relativa de 48 % a 61 %, evidenciando condiciones ambientales compatibles con los requisitos de operación del equipo.

2. Las mediciones de temperatura ambiente y humedad relativa realizadas mediante instrumentación calibrada y con trazabilidad metrológica permitieron obtener resultados confiables para la verificación de las condiciones ambientales del estudio. La temperatura ambiente presentó un promedio de 25,6 °C y un rango de 1,7 °C, mientras que la humedad relativa presentó un promedio de 53,2 % y un rango de 13 %. En consecuencia, las variaciones registradas durante las jornadas no modificaron la conclusión de conformidad del entorno con las condiciones ambientales especificadas para el sistema.

3. El análisis térmico del sistema láser Q-Switched evidenció un comportamiento estable durante las jornadas evaluadas, con temperaturas finales comprendidas entre 23,9 °C y 27,7 °C. Asimismo, se observó una mayor elevación térmica durante la jornada realizada sin aire acondicionado, mientras que en las jornadas con control ambiental mediante aire acondicionado se registraron valores más estables. Estos resultados evidencian la influencia de las condiciones ambientales sobre el comportamiento térmico del sistema y son compatibles con el funcionamiento del sistema de enfriamiento incorporado.

4. El suministro eléctrico presentó estabilidad durante las jornadas de evaluación, con

valores registrados entre 219 V y 220 V, sin fluctuaciones significativas durante las mediciones realizadas. Asimismo, se verificó el uso de gafas de protección compatibles con sistemas Nd:YAG de 1064 nm y en buen estado durante los procedimientos observados, contribuyendo al cumplimiento de condiciones básicas de seguridad operativa.

5. La observación de los parámetros operativos del sistema evidenció que la energía por pulso y la frecuencia de repetición se ajustan de acuerdo con el tipo de tratamiento dermatológico realizado. Se observaron frecuencias de aproximadamente 9 Hz a 10 Hz y energías por pulso entre aproximadamente 930 mJ y 2000 mJ. Estas observaciones son coherentes con la utilización del sistema en diferentes procedimientos dermatológicos; sin embargo, debido a que estos parámetros fueron registrados directamente desde la interfaz del equipo y no mediante medición instrumental del haz, los resultados corresponden a una verificación operativa y no a una calibración de los parámetros ópticos de emisión.

6. El estudio demuestra la importancia de integrar principios de Física aplicada y metrología ambiental en la evaluación de equipos biomédicos, especialmente en entornos donde no existen métodos formales de calibración. La evaluación se realizó mediante el control de variables ambientales, temperatura del sistema, suministro eléctrico y condiciones básicas de seguridad. La verificación realizada aporta evidencia técnica que contribuye al uso seguro del sistema láser en la práctica clínica dermatológica.

RECOMENDACIONES

• Implementar un registro sistemático de variables ambientales, como temperatura y humedad relativa, durante la operación de equipos láser en entornos clínicos, con el fin de contribuir al control de las condiciones operativas del sistema.

• Complementar la observación de los parámetros configurados en el equipo con un seguimiento periódico de su comportamiento durante el uso clínico, permitiendo identificar posibles variaciones operativas.

• Promover la incorporación de criterios de Física aplicada en la evaluación de tecnologías médicas, especialmente en sistemas láser dermatológicos, con el fin de fortalecer el análisis técnico de su funcionamiento.

• Fomentar el desarrollo de infraestructura metrológica orientada a la calibración y verificación de equipos biomédicos, con el propósito de mejorar la trazabilidad y confiabilidad de los parámetros utilizados en la práctica clínica.

• Impulsar la implementación futura de procedimientos de calibración y verificación instrumentada en sistemas láser médicos, una vez que se disponga de los recursos técnicos y normativos necesarios.

• Desarrollar estudios complementarios que integren mediciones instrumentales directas de parámetros físicos del láser, como energía por pulso, perfil del haz y estabilidad temporal, con el fin de ampliar el alcance del análisis físico-metrológico.

REFERENCIAS

Beijing Sincoheren Science and Technology Development Co., Ltd. (2018). *Manual del usuario del dispositivo de eliminación de tatuajes con láser Nd:YAG*

De Filippis, A., Perfetto, B., Guerrera, L. P., Oliviero, G., & Baroni, A. (2019). Q-switched 1064 nm Nd-Yag nanosecond laser effects on skin barrier function and on molecular rejuvenation markers in keratinocyte-fibroblasts interaction. *Lasers in Medical Science*, *34*(3), 595-605. https://doi.org/10.1007/s10103-018-2635-1

Goldberg, D. J. (Ed.). (2013). *Laser dermatology* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32006-4

Hałasiński, P., Lubarska, M., Lubarski, K., & Jałowska, M. (2023). Lasers' Q-switched treatment in skin and subcutaneous lesions—Review. *Postepy Dermatologii I Alergologii*, *40*(2), 181-186. https://doi.org/10.5114/ada.2023.127636

INACAL. (2026). Directorio de entidades acreditadas. Instituto Nacional de Calidad. https://www.inacal.gob.pe/acreditacion/categoria/acreditados

Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). (2008). *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008)*. Bureau International des Poids et Mesures. https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf

Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). (2012). *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM) (3rd ed.).* Bureau International des Poids et Mesures. https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf

Mari, L. (2014). Evolution of 30 years of the International Vocabulary of Metrology (VIM). *Metrologia*, *52*(1), R1. https://doi.org/10.1088/0026-1394/52/1/R1

Ohshiro, T., Ohshiro, T., Sasaki, K., Takenouchi, K., Kozuma, M., Ohshiro, N., & Kageyama, Y. (2013). Correct calibration procedure for the Q-switched ruby laser and checking the treatment irradiation pattern. *Laser Therapy*, *22*(3), 171-180. https://doi.org/10.3136/islsm.22.171

Svelto, O. (2010). *Principles of lasers* (5th ed.). Springer.

Takac, S., Stojanović, S., & Muhi, B. (1997). *Lasers in dermatologic surgery*. *Medicinski Pregled*, *50*(5-6), 215-219.

Welch, A. J., & Van Gemert, M. J. C. (Eds.). (2011). *Optical-Thermal Response of Laser-Irradiated Tissue*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8831-4

Yi, Y., Luo, H., Zhang, Q., & Wu, M. (2024). Prospective study of using 1064-nm Q-switched Nd:YAG combined with radiofrequency-imported vitamin C on pigmented infraorbital dark circles. *Lasers in Medical Science, 39*, 242. https://doi.org/10.1007/s10103-024-04197-7

ANEXOS

En esta sección se presentan los registros técnicos, evidencias fotográficas e información complementaria utilizados durante el desarrollo experimental del presente estudio.

Los anexos incluyen formatos de medición ambiental, registros térmicos del sistema láser Q-Switched, verificación eléctrica y de seguridad, documentación fotográfica de los instrumentos utilizados, evidencia experimental de las jornadas clínicas evaluadas, así como especificaciones técnicas del fabricante y certificados asociados a los instrumentos de medición empleados

ANEXO A — REGISTRO AMBIENTAL DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS CON EL LÁSER Q-SWITCHED

En este anexo se presentan los registros de temperatura ambiente y humedad relativa obtenidos durante la primera jornada clínica evaluada, realizados antes y después de los procedimientos con el sistema láser Q-Switched.

DÍA 1

Condición Operativa Clínica: Melasma

- **Inicio: 16 h y 40 min Fecha: 04 / Mayo / 2026**

TEMPERATURA INICIAL: Temperatura (°C) = 26,3 °C

HUMEDAD RELATIVA INICIAL: Humedad (%) = 61%

Tabla A1

Control de temperatura y humedad

Día 01	Hora	Momento (Procedimiento)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
PACIENTE 1	16 h 45 min	Antes	26,2 °C	61%
		Después	26,2 °C	61%
PACIENTE 2	16 h 55 min	Antes	26,2 °C	61%
		Después	26,2 °C	61%
PACIENTE 3	17 h 2 min	Antes	26,3 °C	61%
		Después	26,2 °C	61%
PACIENTE 4	17 h 10 min	Antes	26,2 °C	60%
		Después	26,2 °C	60%
PACIENTE 5	17 h 15 min	Antes	26,2 °C	60%
		Después	26,2 °C	60%
PACIENTE 6	17 h 20 min	Antes	26,2 °C	60%
		Después	26,2 °C	60%
PACIENTE 7	17 h 35 min	Antes	26,2 °C	60%
		Después	26,2 °C	60%

- **Fin: 17 h 40 min Fecha: 04 / Mayo / 2026**

TEMPERATURA FINAL: Temperatura (°C) = 26,1 °C

HUMEDAD RELATIVA FINAL: Humedad (%) = 60 %

ANEXO B — REGISTRO DE TEMPERATURA DEL SISTEMA LÁSER Q-SWITCHED

Este anexo contiene el registro de temperatura del sistema láser Q-Switched durante la primera jornada clínica, obtenido mediante medición indirecta sobre superficies accesibles del equipo.

DÍA 1

Condición Operativa Clínica: Melasma

- Inicio: 16 h 40 min Fecha: 04 / Mayo / 2026

TEMPERATURA INICIAL DEL SISTEMA = 26,6 °C

- Registro durante los tratamientos:

Tabla B1

Control de temperatura del Equipo Láser Q-Switched

Día 01	Hora	Punto de medición	Temperatura (°C)	Método
PACIENTE 1	16 h 45 min	Superficie	**26,2 °C**	Indirecto
PACIENTE 2	16 h 55 min	Superficie	**26,3 °C**	Indirecto
PACIENTE 3	17 h 2 min	Superficie	**26,6 °C**	Indirecto
PACIENTE 4	17 h 10 min	Superficie	**26,9 °C**	Indirecto
PACIENTE 5	17 h 15 min	Superficie	**27,0 °C**	Indirecto
PACIENTE 6	17 h 20 min	Superficie	**27,1 °C**	Indirecto
PACIENTE 7	17 h 35 min	Superficie	**27,3 °C**	Indirecto

Punto de medición: a) Superficie externa próxima a la entrada del sistema de enfriamiento.
b) Interfaz de la manguera del aplicador.
Método: a) Directo: si tocas agua (con sonda real) o b) Indirecto: superficie externa

- Fin:17 h 40 min Fecha: 04 / Mayo / 2026

TEMPERATURA FINAL DEL SISTEMA = 27,7 °C

ANEXO C — REGISTRO AMBIENTAL DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS CON EL LÁSER Q-SWITCHED

En este anexo se presentan los registros ambientales correspondientes a la segunda jornada clínica evaluada, incluyendo temperatura ambiente y humedad relativa durante la operación del sistema láser.

DÍA 2

Condición Operativa Clínica: **Tatuaje y Acné Activo**

- **Inicio:** 11 h 7 min **Fecha:** 05 / Mayo / 2026

TEMPERATURA INICIAL: Temperatura (°C) = 26,0 °C

HUMEDAD RELATIVA INICIAL: Humedad (%) = 48 %

Tabla C1

Control de temperatura y humedad

Día 02	Hora	Momento (Procedimiento)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
PACIENTE 1	11 h 11 min	Antes	24,7 °C	48 %
		Después	24,7 °C	48 %
PACIENTE 2	11 h 27 min	Antes	24,6°C	49 %
		Después	24,6 °C	49 %

- **Fin:** 11 h 32 min **Fecha:** 05 / Mayo / 2026

TEMPERATURA FINAL: Temperatura (°C) = 24,6 °C

HUMEDAD RELATIVA FINAL: Humedad (%) =49 %

ANEXO D — REGISTRO DE TEMPERATURA DEL SISTEMA LÁSER Q-SWITCHED

Este anexo presenta el monitoreo térmico del sistema láser Q-Switched durante la segunda jornada clínica, considerando mediciones indirectas realizadas sobre la superficie del equipo.

DÍA 2

Condición Operativa Clínica: Tatuaje oscuro y Acné Activo

- Inicio: 11 h 7 min Fecha: 05 / Mayo / 2026

TEMPERATURA INICIAL DEL SISTEMA = 23,4 °C

- Registro durante los tratamientos:

Tabla D1

Control de temperatura del Equipo Láser Q-Switched

Día 02	Hora	Punto de medición	Temperatura (°C)	Método
PACIENTE 1	11 h 11 min	Superficie	**23,9 °C**	Indirecto
PACIENTE 2	11 h 27 min	Superficie	**23,8 °C**	Indirecto

Punto de medición: a) Superficie externa próxima a la entrada del sistema de enfriamiento.
b) Interfaz de la manguera del aplicador.
Método: a) Directo: si tocas agua (con sonda real) o b) Indirecto: superficie externa

- Fin: 11 h 32 min Fecha: 05 / Mayo / 2026

TEMPERATURA FINAL DEL SISTEMA = 23,9 °C

ANEXO E — REGISTRO AMBIENTAL DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS CON EL LÁSER Q-SWITCHED

En este anexo se documentan las mediciones ambientales registradas durante la tercera jornada clínica, correspondientes a temperatura ambiente y humedad relativa durante los procedimientos dermatológicos realizados.

DÍA 3

Condición Operativa Clínica: Melasma, marcas de nacimiento, tratamiento facial y tatuaje de ceja

- **Inicio:** 15 h 00 min **Fecha:** 7 / Mayo / 2026

TEMPERATURA INICIAL: Temperatura (°C) = 25,0 °C
HUMEDAD RELATIVA INICIAL: Humedad (%) = 50,0 %

Tabla E1

Control de temperatura y humedad

Día 03	Hora	Momento (Procedimiento)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
PACIENTE 1	15 h 10 min	Antes	25,2 °C	50,0 %
		Después	25,2 °C	50,0 %
PACIENTE 2	15 h 20 min	Antes	25,2 °C	50,1 %
		Después	25,5 °C	50,1 %
PACIENTE 3	15 h 29 min	Antes	25,6 °C	50,0 %
		Después	25,9 °C	50,1 %
PACIENTE 4	15 h 40 min	Antes	26,0 °C	50,3 %
		Después	26,0 °C	50,4 %
PACIENTE 5	16 h 00 min	Antes	25,0 °C	51,0 %
		Después	25,0 °C	51,4 %
PACIENTE 6	16 h 20 min	Antes	25,1 °C	51,3 %
		Después	25,1 °C	51,2 %

- **Fin:** 16 h 30 min **Fecha:** 7 / Mayo / 2026

TEMPERATURA FINAL: Temperatura (°C) = 25,6 °C

HUMEDAD RELATIVA FINAL: Humedad (%) =51,0%

ANEXO F — REGISTRO DE TEMPERATURA DEL SISTEMA LÁSER Q-SWITCHED

Este anexo contiene el registro de temperatura operativa del sistema láser Q-Switched durante la tercera jornada clínica evaluada.

DÍA 3

- Inicio: 15 h 00 min Fecha: 07 / Mayo / 2026

TEMPERATURA INICIAL DEL SISTEMA = 24,2 °C

- Registro durante los tratamientos:

Tabla F1
Control de temperatura del Equipo Láser Q-Switched

Día 03	Hora	Punto de medición	Temperatura (°C)	Método
PACIENTE 1	15 h 10 min	Superficie	**25,2 °C**	Indirecto
PACIENTE 2	15 h 20 min	Superficie	**25,5 °C**	Indirecto
PACIENTE 3	15 h 29 min	Superficie	**25,3 °C**	Indirecto
PACIENTE 4	15 h 40 min	Superficie	**26,0 °C**	Indirecto
PACIENTE 5	16 h 00 min	Superficie	**25,0 °C**	Indirecto
PACIENTE 6	16 h 20 min	Superficie	**25,1 °C**	Indirecto

Punto de medición: a) Superficie externa próxima a la entrada del sistema de enfriamiento.
b) Interfaz de la manguera del aplicador.
Método: a) Directo: si tocas agua (con sonda real) o b) Indirecto: superficie externa

- **Fin:** 16 h 30 min **Fecha:** 07 / Mayo / 2026

TEMPERATURA FINAL DEL SISTEMA = 24,0 °C

La temperatura final fue registrada al término de la jornada clínica, luego de un breve periodo de estabilización térmica del sistema de enfriamiento del equipo.

ANEXO G — Registro eléctrico y verificación de seguridad operativa

En este anexo se presentan los registros básicos de verificación eléctrica y las condiciones de seguridad operativa observadas durante las jornadas clínicas evaluadas.

Tabla G1

Registro de tensión eléctrica del suministro eléctrico

Día	Hora	Voltaje (V)	Estado del equipo
Día 1	16 h 45 min	219 V	Encendido
Día 2	11 h 7 min	220 V	Encendido
Día 3	15 h 00 min	220 V	Encendido

Tabla G2

Verificación de seguridad

Día	Uso de gafas	Tipo de gafas	Estado
Día 1	SI	Nd:YAG / 1064 nm	Bueno
Día 2	SI	Nd:YAG / 1064 nm	Bueno
Día 3	SI	Nd:YAG / 1064 nm	Bueno

ANEXO H — INSTRUMENTOS UTILIZADOS DURANTE LAS MEDICIONES

En este anexo se presentan los instrumentos utilizados durante el proceso de medición y evaluación técnica del sistema láser Q-Switched.

Figura H1

Gafas de protección utilizadas durante la operación del sistema láser Q-Switched.



Figura H2

Termohigrómetro utilizado para el registro de temperatura y humedad relativa ambiental.



Figura H3

Sensor de temperatura utilizado para el monitoreo térmico del sistema láser

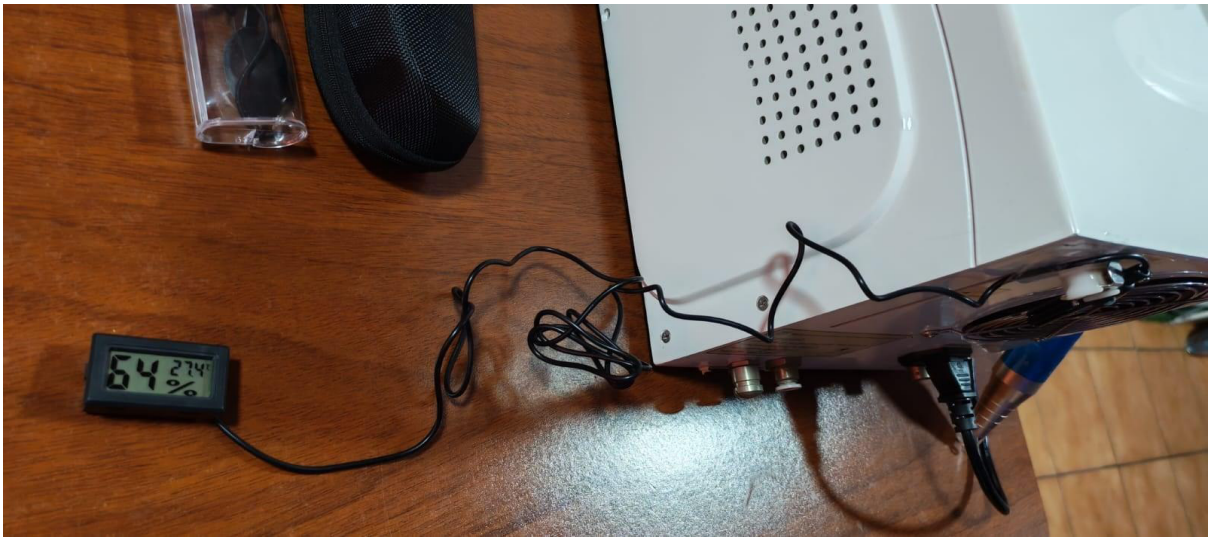


Figura H4

Multímetro digital utilizado para la verificación del suministro eléctrico.



ANEXO I — EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DEL PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Este anexo contiene la evidencia fotográfica obtenida durante el desarrollo experimental y las jornadas clínicas evaluadas.

Figura I1

Registro de temperatura y humedad ambiental durante la jornada clínica mediante termohigrómetro digital



Figura I2

Monitoreo ambiental realizado durante la aplicación clínica del sistema láser Q-Switched.



Figura I3

Aplicación clínica del sistema láser Q-Switched durante tratamiento dermatológico facial



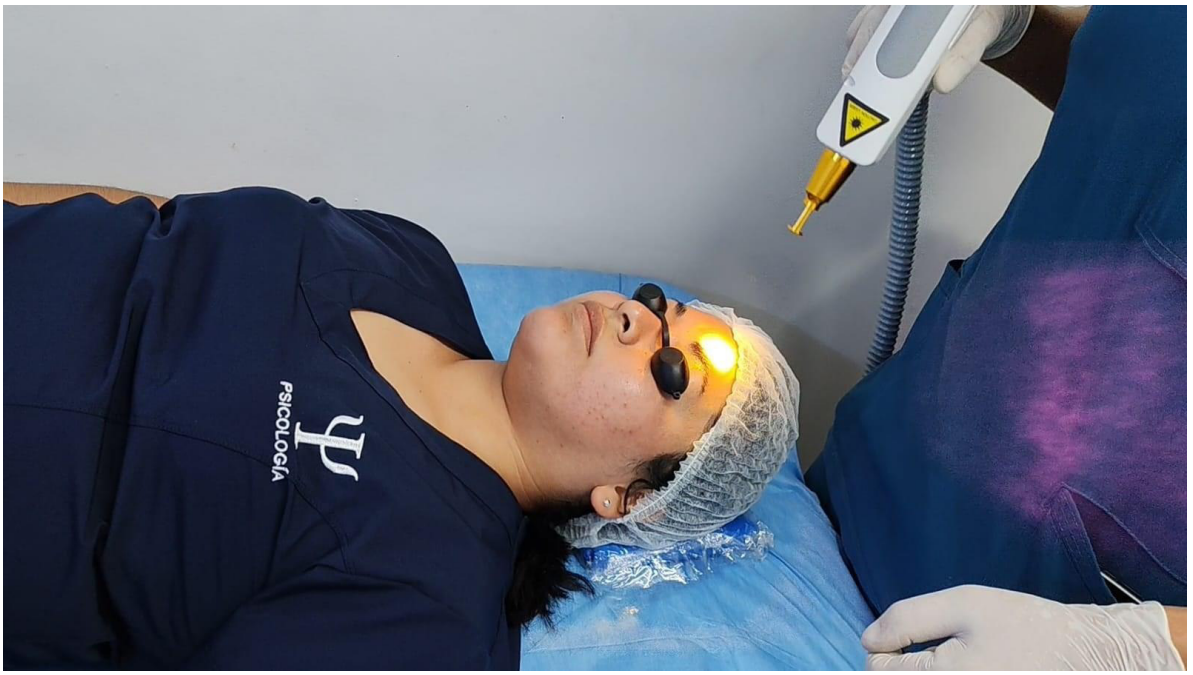


Figura I4

Procedimiento de eliminación de tatuaje mediante sistema láser Q-Switched





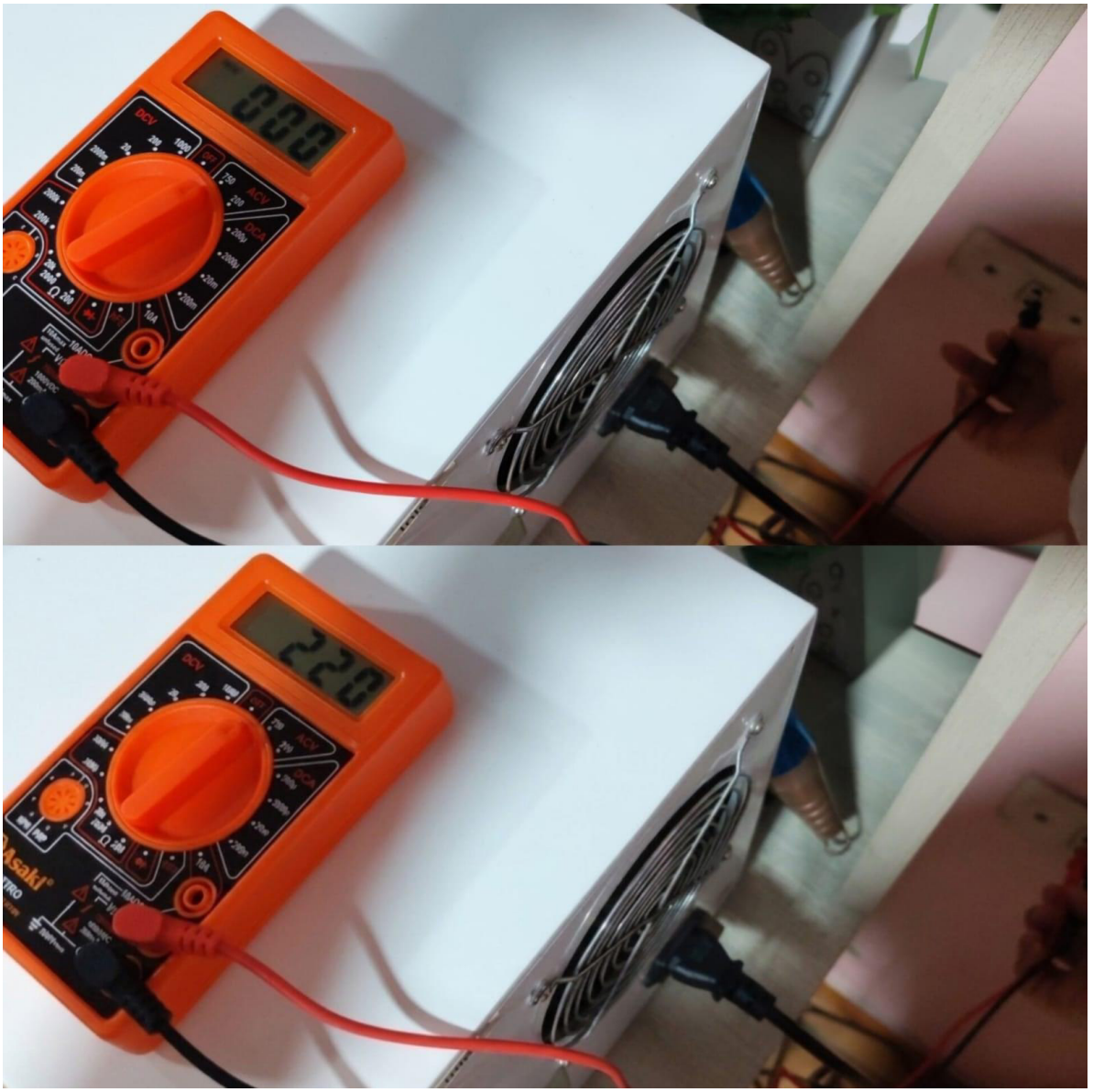
Figura I5

Uso de gafas de protección durante el procedimiento clínico con láser



Figura I6

Verificación del suministro eléctrico (tensión eléctrica) mediante multímetro digital.



ANEXO J — ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y AMBIENTALES DEL FABRICANTE (MANUAL)

En este anexo se incluyen las especificaciones técnicas y ambientales proporcionadas por el fabricante del sistema láser Q-Switched utilizado durante el estudio.

Requisitos medioambientales:

- Temperatura: 10℃～30℃;
- Humedad: 30%～70%;
- Presión atmosférica: 860hPa～1060hPa;
- Requisitos ambientales: Avoid direct light;
- Agua de enfriamiento: agua desionizada o purificada. Requisitos eléctricos:
- Voltaje de entrada: AC110V ORAC220V/50Hz;
- Potencia de entrada: 400W.

1.3 Seguridad eléctrica

El sistema M4C-II pertenece a maquinaria tipo I clase B.
M4C-II utiliza la fuente de alimentación AC220V o AC110V, la potencia de salida máxima no es inferior a 400 VA.
El cable de alimentación debe coincidir con el estándar internacional, con conexión a tierra monofásica y enchufe de tres orificios de 10A.
Hay alto voltaje dentro de la unidad cuando está en funcionamiento. El voltaje aún peligroso que queda justo después de que el sistema se apaga puede causar una descarga eléctrica si la cubierta se abre sin medida de protección.

1.4 Almacenamiento y transporte

Rango de temperatura: -10 ℃ ～ 40 ℃
Rango de humedad: <90% RH (sin condensación) Rango de presión atmosférica: 860hPa ～ 1060hPa
El sistema M4C-II se puede mover y transportar fácilmente. Pero dado que el asa de tratamiento contiene componentes ópticos delicados, durante el transporte, se debe utilizar el paquete amortiguador originado por el vendedor. De lo contrario, puede causar un mal funcionamiento y afectar la salida.
Asegúrese de que el tapón sin orificio esté en uso antes del transporte.

2.2 Parámetros técnicos

Tabla 1 Parámetros técnicos

Fuente de luz	Q-switched Nd: YAG solid-state laser
Longitud de onda	1064nm/532nm
Nivel de energía	10mJ ~ 2000mJ
Fluencia	⩽12mJ/cm²
Duración del pulso	8ns
Frecuencia	1Hz ~ 10Hz
Sistema de refrigeración	Sistema incorporado de enfriamiento de agua circulante
Requisitos de energía	AC110V OR AC220V,50Hz/10A
Dimensión	38cm×20cm×20cm
Peso	16Kg

Las especificaciones ambientales y operativas presentadas corresponden al *Manual del usuario del dispositivo de eliminación de tatuajes con láser Nd:YAG* empleado durante el estudio.

Nota. De *Manual del usuario del dispositivo de eliminación de tatuajes con láser Nd:YAG,* Beijing Sincoheren Science and Technology Development Co. Ltd., 2018.

ANEXO K — CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL TERMOHIGRÓMETRO

TEST & CONTROL

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 016

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración Acreditado
Registro N°LC - 016

Certificado de Calibración

TC-11977-2026

Proforma : 05976 Fecha de emisión: 2026-05-07

Solicitante : MAYRA ALEJANDRA YURIVILCA LAZO
Dirección : Avenida Las Flores De Primavera 1624 Lima-Lima-San Juan De Lurigancho

Instrumento de medición	: **Termohigrómetro**
Intervalo de indicación	
Temperatura interna	: -10 °C a 50 °C
Humedad relativa	: 20 %hr a 99 %hr
Resolución	
Temperatura interna	: 0,1 °C
Humedad relativa	: 1 %hr
Marca	: BOECO
Modelo	: SH-110
Serie	: No indica
Procedencia	: Alemania
Fecha de calibración	: 2026-05-06

Lugar de calibración
Laboratorio de Test & Control S.A.C.

Método de calibración
La calibración se realizó por comparación directa de acuerdo al PC-026 "Procedimiento para la calibración higrómetros y termómetros ambientales". Primera edición - Diciembre 2019. DM-INACAL.

Condiciones ambientales

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	21,9 °C	21,5 °C
Humedad Relativa	59,7 %hr	58,7 %hr

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario recalibrará sus instrumentos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
TEST & CONTROL
G. T.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

Av. Simón Bolivar 1619 Pueblo Libre - Lima 990089889 informes@testcontrol.com.pe

*Empresa con **responsabilidad social**, que acerca la ciencia a los que comparten nuestra **pasión por la metrología**.*

Certificado de calibración
TC-11977-2026

Trazabilidad

Trazabilidad	Patrón de Trabajo	Certificado de calibración	QR
Patrones de Referencia de la DM-INACAL	Termohigrómetro Digital con incertidumbres desde 0,16 ºC hasta 0,2 ºC y desde 1,17 %hr hasta 1,5 %hr	LH-053-2026 Abril 2026	

Resultados de medición

Para el sensor de temperatura interna (T. IN.)

Indicación del termómetro (ºC)	Temperatura convencionalmente verdadera (ºC)	Corrección (ºC)	Incertidumbre (ºC)
15,2	14,96	-0,24	0,71
24,8	25,03	0,23	0,64
34,7	34,96	0,26	0,72

Temperatura convencionalmente verdadera (TCV) = Indicación del termómetro + corrección

Para el sensor de humedad relativa

Indicación del Higrómetro (%hr)	Humedad relativa convencionalmente verdadera (%hr)	Corrección (%hr)	Incertidumbre (%hr)
29	30,2	1,2	3,3
58	60,1	2,1	3,3
78	80,3	2,3	3,3

Humedad relativa convencionalmente verdadera (HCV) = Indicación del higrómetro + corrección

Observaciones

Las temperaturas convencionalmente verdaderas mostradas en los resultados de medición corresponden con la escala internacional de temperatura de 1990 (international temperature scale - ITS-90).

La temperatura de referencia a la cual se realizo la calibración del sensor de humedad fue de 20,12 ºC.

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

Incertidumbre

La incertidumbre expandida resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

Av. Simón Bolivar 1619 Pueblo Libre - Lima 990089889 informes@testcontrol.com.pe

Empresa con **responsabilidad social**, que acerca la ciencia a los que comparten nuestra **pasión por la metrología.**

Marco Conceptual o Glosario

- **Láser Q-Switched:** Sistema láser que emite pulsos de alta energía en intervalos extremadamente cortos mediante la modulación del factor de calidad del resonador óptico.

- **Energía por pulso:** Cantidad de energía emitida en cada pulso láser, generalmente expresada en milijulios (mJ).

- **Longitud de onda:** Parámetro que define la distancia entre dos picos de la onda electromagnética, determinando su interacción con el tejido.

- **Fluencia:** Energía aplicada por unidad de área (J/cm^2), fundamental para definir la intensidad del tratamiento.

- **Frecuencia de repetición:** Número de pulsos emitidos por segundo (Hz).

- **Metrología:** Ciencia de la medición que asegura la exactitud, trazabilidad y confiabilidad de los resultados.

- **Trazabilidad:** Relación de una medición con estándares de referencia mediante una cadena de calibraciones.

- **Calibración:** Proceso de comparación entre un instrumento y un estándar para determinar desviaciones.

- **Incertidumbre de medición:** Parámetro que indica el grado de duda asociado a un resultado de medición.

- **Fototermólisis selectiva:** Mecanismo mediante el cual el láser actúa sobre estructuras específicas del tejido sin afectar zonas adyacentes.