

Simulación de estaciones de trabajo ergonómicamente diseñadas para inspeccionar lentes de contacto

Jannette Soto Santiago
Roberto Diaz Suarez
Candidatos a graduación

Sinopsis

En este proyecto se describe la preparación del diseño ergonómico de estaciones de trabajo para inspeccionar lentes de contacto. Se usó el programa de simulación MANNEQUIN¹ para la evaluación y el diseño apropiado. El objetivo principal de este proyecto es simular el sistema vigente con sus problemas operacionales y validar el modelo para simular mejoras y hacer recomendaciones. Mediante la simulación podemos evaluar el sistema vigente y un sistema propuesto para justificar cualquier costo asociado con los cambios en un área a base de los resultados obtenidos.

Abstract

In this project we describe the ergonomic design of workstations for the inspection of contact lenses. MANNEQUIN, a simulation program, was used for the evaluation and proper design. The main objective of this project is to simulate the present system with its operational problems and validate the model to simulate improvements and make recommendations. The simulation technique helps to evaluate the present and proposed systems to assure that any related cost due to the changes in an area can be justified on the basis of results.

¹Biomechanics Corporation of America, *Mannequin User Guide*
Humancad, New York.

Introducción

Nuestro trabajo se realizó en una compañía que manufactura de lentes de contacto. Para esta manufactura se requieren tres aspectos principales: manufactura de los materiales, maquinado de los materiales e hidratación e inspección del producto. El aspecto de interés especial para nosotros es la inspección de los lentes de contacto al concluir el proceso de manufactura. En este aspecto trabajan aproximadamente 30 inspectores de manufactura por turno. Varios de estos empleados ya presentan problemas de desórdenes por traumas acumulativos (CTD, por sus siglas en inglés) debido a la tarea repetitiva que conlleva dicha inspección.

El Departamento de Inspección en la compañía es responsable de todas las operaciones finales para la manufactura de lentes de contacto. En este departamento se hidrata el lente duro y seco que proviene del Departamento de Manufactura. Luego se inspecciona el apareamiento de color, la curvatura de la base y el diámetro, la superficie, la potencia y óptica y el cilindro y el eje.

Estas inspecciones se le realizan al 100% del lote. El tamaño medio del sublote que llega a este departamento es de 150 a 175 lentes. Luego de procesar el sublote en inspección, dos sublotes se convierten en un lote maestro de aproximadamente 300 a 350 lentes. Una vez se concluyen las inspecciones, realizadas por inspectores de manufactura al 100% y por inspectores de "quality assurance" (QA) con planes de muestreo en una misma área sanitizada, el lente se envía a otra sección para colocar la tapa de aluminio que sella su envoltura y luego esterilizarlo. Tras la esterilización se coloca la envoltura plástica de protección y seguridad de la tapa del vial del lente, se prepara la etiqueta que identifica ese vial y finalmente se empaqueta apropiadamente.

Nuestro estudio se concentra en la fase de inspección de potencia y óptica y la superficie del lente. A esta fase la llamamos inspección final del lente de contacto. Esta inspección se realiza en estaciones individuales y

está a cargo de cerca de 30 inspectores de manufactura que trabajan turnos de 7.5 horas diarias.

Objetivos

Nuestro trabajo tiene los siguientes objetivos:

- Identificar los posibles problemas ergonómicos en el área de inspección final de lentes de contacto para considerarlos en el diseño de las estaciones de trabajo.
- Identificar los factores de riesgo del área de inspección de lentes de contacto que puedan causar desordenes por traumas acumulativos.
- Mejorar el equipo de trabajo y los métodos de trabajo utilizados para, a su vez, mejorar el flujo y las condiciones de trabajo.
- Minimizar los impactos adversos de los trabajos pobremente diseñados.
- Minimizar los costos asociados a los estresores físicos en términos de ausentismo, compensaciones, días de trabajo perdidos, productividad y calidad.
- Crear un modelo de simulación del sistema de estaciones de trabajo para la inspección de lentes de contacto utilizando el programa MANNEQUIN.
- Validar el modelo, simular mejoras al sistema y obtener un sistema propuesto operacionalmente superior al existente.

Identificación de lesiones corporales

Para identificar un área con problemas de lesiones en empleados se comienza con la investigación y recopilación de los datos históricos disponibles en la empresa. Estos datos históricos pueden incluir, entre otros, registros médicos, OSHA 200 log, preguntas a supervisores, reportes de ausentismo y listas de cotejo. A base de estos datos obtuvimos los siguientes resultados:

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

- 46% de las personas afectadas presentan un cuadro de dolor en las cervicales superiores
- 29% de las personas afectadas presentan un cuadro de dolor en las cervicales dorsales
- 17% presentan un cuadro de dolor a los lados del dorso, debajo de la últimas costillas (espalda baja)
- 8% presentan un cuadro de inflamación del músculo de las cervicales de la columna vertebral (miositis cervical)
- El tiempo medio de ausentismo por estas lesiones en 1991 fue de 6.0 días (nueve empleados) y para 1992 fue de 10 días (12 empleados)
- El tiempo medio para presentarse los síntomas es de 8 meses luego de haber comenzado a trabajar
- 31% (24 empleados de un total de 78) de esta población de inspección padecen una lesión de traumas de desórdenes acumulativos
- 55% de la población son féminas y 37% de ellas están lesionadas
- 45% de la población son varones y 23% de ellos están lesionados
- La edad media en este sector de inspección es de 28 a 30 años.

Descripción y análisis del método vigente

El aspecto de inspección de la superficie, óptica y potencia para lentes de contacto tiene disponibles 30 estaciones individuales para inspeccionar el 100% de los lentes. Cuando observamos directamente el proceso de inspección en las estaciones de trabajo, notamos diferentes despliegues de estas estaciones. Estos despliegues se clasificaron en tres categorías que se ilustran en la figura 1. El diseño #1 es el más común en el área y lo usan 25 inspectores; el diseño #2 lo usan tres inspectores y el diseño #3 dos inspectores. El equipo de trabajo utilizado en todas las estaciones de inspección es el mismo, ya que en todas se realiza la misma tarea.

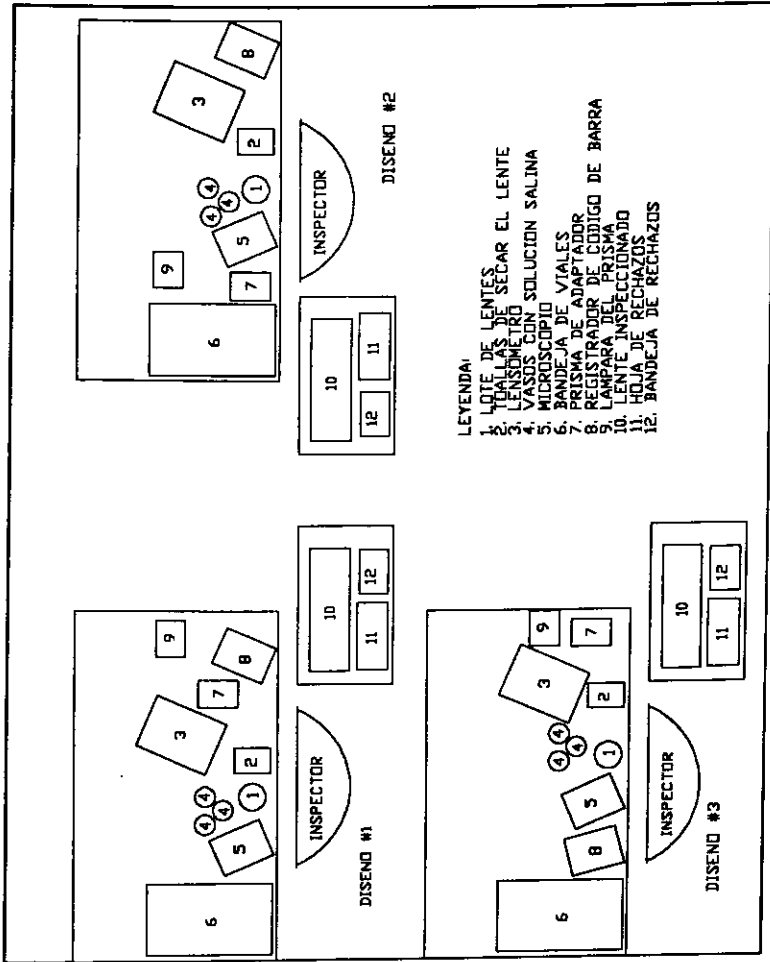


Figura 1. Despliegues del arreglo de las estaciones utilizados en inspección

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

Hay dos cambios particulares en estas estaciones. El primer cambio surge porque se usan dos tipos de microscopios: uno de base alta y otro de base baja. Al microscopio de base baja se le colocó un par de bandejas para elevar su base, mejorar la visibilidad y limitar la inclinación de la cabeza al inspeccionar. El segundo cambio consiste en inclinar el envase del lote de lentes sobre su tapa colocando servilletas debajo del envase para mantener la inclinación. Este otro cambio mejora la visibilidad y el alcance de los lentes dentro del envase a la vez que evita tener que inclinar la cabeza. Todos estos cambios en el área de trabajo los generaron los mismos inspectores para buscar su comodidad y realizar un mejor trabajo, con la menor fatiga posible. Es evidente que estos cambios en las estaciones de inspección son buenos indicadores de los problemas en la ejecución del trabajo que realizan los inspectores.

El análisis del método de trabajo se realizó para el diseño #1, ya que es el que usa el 83% de los inspectores. Se consideraron cambios a este diseño, aunque también se evaluaron las ventajas y desventajas de los otros dos diseños (tabla 1 y fig. 2)

Análisis del método de trabajo de inspección de lentes

Operación: Inspección de superficie, óptica y potencia de lentes de contacto

Objetivo: Inspeccionar la superficie, la óptica y la potencia del lente de contacto de acuerdo a los parámetros establecidos para su disposición final

Estándar de producción: 65 lentes por hora

Materiales: viales con solución salina, bandeja del lote, envoltura plástica

Tabla 1: Método de trabajo

Mano izquierda	Mano derecha
	Tomar el lente del envase del lote
Abrir toallas de secar el lente	Colocar el lente en la toalla
Secar el lente en la toalla	Tomar el lente de la toalla
	Colocar lente en el lensómetro
	Girar manecilla e inspeccionar óptica
	Tomar lente del lensómetro
	Enjuagar lente en solución salina
Tomar la esponja	Colocar el lente en el microscopio
Inspeccionar la superficie del lente	Inspeccionar la superficie del lente
Soltar la esponja	Tomar el lente del microscopio
Tomar el vial del lente	Enjuagar el lente con solución salina
Abrir el vial	
Sostener el vial del lente	Colocar el lente dentro del vial
Cerrar el vial	
	Tomar el vial
	Colocar el vial en el prisma
	Inspeccionar a través del vial
	Tomar el vial del prisma
	Entrar código de barra al sistema
	Colocar vial en la bandeja
	Presionar botón del lensómetro

Repetitividad: 65 lentes/hora X 29 movimientos por lente
 = 1,885 movimientos por hora X 7.5 horas por turno
 = 14,138 movimientos por turno

Para este análisis de repetitividad hay evidencia que apoya la contribución de factores individuales en ciertas situaciones. En un caso, la gran cantidad de movimientos realizados, de 7,600 a 12,000 movimientos por turno, fue el factor principal en 189 casos de "tenosinovitis" de las extremidades superiores entre un grupo de 700 empaques en una fábrica de té. También se ha sugerido que los tendones humanos no pueden tolerar más de 1,500 a 2,000 movimientos por hora. De acuerdo a esta información y los problemas de lesiones corporales en el área de inspección de interés para nosotros, podemos considerar esta tarea como una de alto nivel de repetitividad.

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

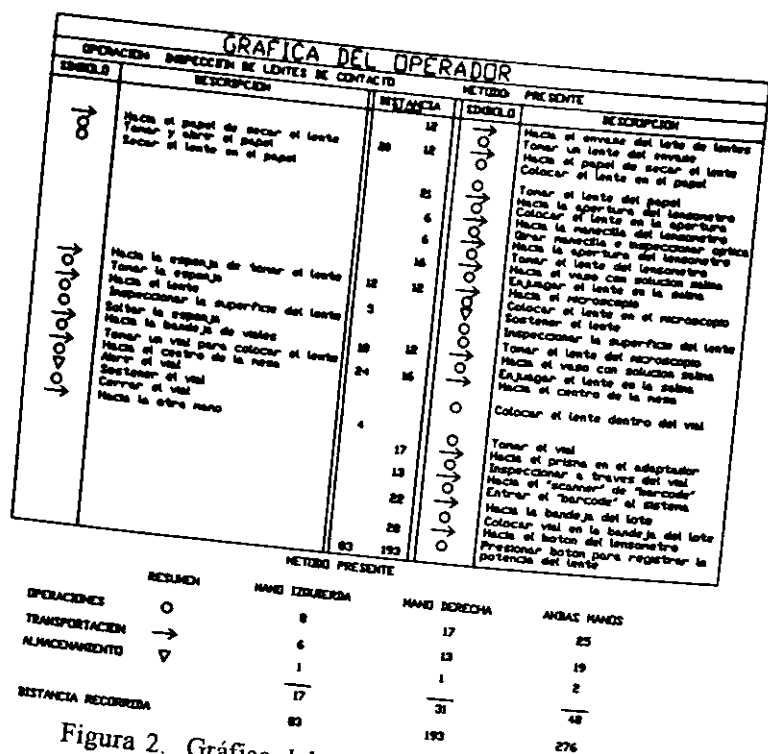


Figura 2. Gráfica del operador (método vigente)

La figura 2 muestra que la mano izquierda realiza 15 movimientos, de los cuales 13 están dentro de la zona cómoda y dos están dentro de la zona máxima. Los 31 movimientos realizados por la mano derecha muestran que 18 están en la zona cómoda y 13 están en la máxima. En resumen, del método vigente, 31 movimientos están en la zona cómoda y 15 están en la zona máxima.

Hay varias técnicas para realizar estudios de tiempo. En nuestro trabajo usamos dos técnicas para medir el tiempo de la inspección final de lentes de contacto. Estas técnicas son el estudio de tiempo por cronómetro y el estudio de datos fundamentales de movimiento con el sistema MOST.

Usamos esta técnica como herramienta para validar nuestro estudio. Al analizar nuestro estudio de tiempo con ambas técnicas validamos el método vigente. Por lo tanto, podemos utilizar ambas técnicas para estimar los tiempos del método propuesto de manera confiable.

La tabla 2 muestra los resultados de los estudios de tiempo para el método vigente.

Tabla 2: Estudio de tiempo del método vigente

Técnica	Total min./lente	Estándar min./lente	Lentes/hora
Cronómetro	0.7350	0.8820	68
MOST	0.7356	0.8827	68

El tiempo estándar se calculó con un 20% de tolerancia.

Análisis de la inspección al 100%

Un producto o servicio es de calidad si cumple con sus requerimientos y especificaciones al llegar al consumidor. Todo producto tiene unos requerimientos específicos; algunos conllevan un cuidado mayor al manufacturarlos por su naturaleza o su uso.

La variabilidad del proceso determina la naturaleza específica entre el defecto y la inspección. Si se reduce la razón de defectos se puede reducir la inspección. Si se tiene una alta fracción de defectos o si hay distintas causas de rechazos, el proceso no va a estar controlado. Las razones para la variabilidad de un proceso pueden ser causas asignables tales como ajustes impropios de máquinas, errores de operadores y materia prima defectuosa. El proceso está controlado cuando opera con sólo causas aleatorias de variación y está fuera de control cuando opera con la presencia de causas asignables. En el caso específico de la fabricación de lentes de contacto, se inspecciona el 100% y luego hay otra inspección de QA que se realiza con un plan de muestreo. Este procedimiento nos asegura que la inspección al 100% se hizo correctamente.

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

El inspeccionar el 100% tiene sus ventajas y sus desventajas. Una de las ventajas es que podemos detectar mejor cualquier defecto. La inspección al 100% provee datos del desarrollo de calidad que pueden usarse para tomar acción correctiva y salvar el costo de procesamiento adicional del producto que pueda fallar en la inspección final. Sin embargo, una desventaja de este tipo de inspección es que se puede convertir en una rutina en la línea de manufactura y, como los rechazos se identifican y seleccionan, quitarle importancia a la prevención de defectos. Esto condición duplica la inspección, aumenta los costos de inspección y no es 100% efectiva porque una inspección al 100% no garantiza que todos los defectos se detecten.

Todo producto terminado luego de inspeccionarse está en condición óptima y cumple con todas sus especificaciones. No se puede tolerar que un producto, en este caso lentes de contacto, llegue al consumidor con defectos, ya que estos son dispositivos médicos y el prestigio de la empresa está en juego.

Analizamos los datos de todas las reparaciones generadas durante el período entre enero 1992 hasta febrero 1993. De este análisis determinamos que por la variabilidad del proceso y la cantidad de distintas clases de defectos encontrados no se puede hacer una inspección menor de 100%. Durante el período estudiado encontramos un total de 2,141 reparaciones en 30 clases de defectos diferentes. Estas reparaciones representan lotes con uno o más lentes defectuosos. También hubo 492,058 lentes defectuosos para una media de 41,005 lentes defectuosos por mes. Para el año 1992 el 9% del total de la producción de lentes de contacto se rechazó. A base de estos datos determinamos que no es viable la posibilidad de minimizar la inspección al menos del 100% para reducir los problemas corporales encontrados en el área.

Estudio ergonómico en la inspección de lentes de contacto

Concepto

La ergonomía, además de ser una disciplina de la ingeniería, es también una filosofía y permite mirar las cosas desde una perspectiva diferente. Para entender la ergonomía es fundamental entender el rol de la estación de trabajo. Si los métodos y las herramientas de trabajo utilizadas no están a tono con las necesidades, no seremos capaces de ejercer el trabajo lo mejor posible y se pueden desarrollar dolores y malestares a través del tiempo. En situaciones más severas podemos desarrollar lesiones incapacitantes.

La palabra ergonomía proviene de los británicos, poco después de la Segunda Guerra Mundial. La palabra se deriva del griego "ergo" que significa trabajo y "nomos" que significa leyes o estudio de. Por lo tanto, la ergonomía es el estudio de las personas y su trabajo. En Estados Unidos, la ergonomía se refiere a la ingeniería de factores humanos. Esto es, la ergonomía es una ciencia aplicada que se deriva de las ciencias de la anatomía, fisiología, antropometría e ingeniería y tiene el propósito de ajustar el trabajo a las características físicas y fisiológicas de los trabajadores.

La ergonomía tiene como meta establecer el mejor ajuste entre los humanos y las condiciones de trabajo para asegurar y garantizar la salud, seguridad, comodidad y productividad del trabajador. Ante esta realidad, analizamos la situación en las estaciones de trabajo de la inspección de lentes de contacto para identificar los problemas ergonómicos y sus causas. Luego comparamos estas causas con las guías y establecimos el diseño propuesto que minimiza o elimina los problemas ergonómicos encontrados.

La ergonomía está asociada con muchos factores que afectan la interfase entre el trabajador y su trabajo. La mayoría de los problemas relacionados a la ergonomía son las lesiones músculo-esqueléticas.

colectivamente conocidas como desórdenes por traumas acumulativos. Estas lesiones afectan muchas partes del cuerpo incluyendo la espalda, los brazos y las piernas. Muchos factores contribuyen a los desórdenes por traumas acumulativos incluyendo la posición o postura, la fuerza y la frecuencia, la vibración, el frío y los traumas externos.

¿Qué son los desórdenes por traumas acumulativos?

Los desórdenes por traumas acumulativos son lesiones ocupacionales que se desarrollan a través del tiempo y afectan los sistemas músculo-esquelético y nervioso periferal. Estas lesiones se pueden desarrollar en cualquier parte del cuerpo, pero prevalecen en los brazos y la espalda. Las principales causas de estas lesiones son los trabajos que requieren esfuerzos y movimientos repetitivos cerca de los límites de la fortaleza del individuo y la capacidad de su rango de movimiento. Estos movimientos inicialmente no son dolorosos, pero causan microtraumas, es decir, traumas bien pequeños a los tejidos suaves. A través del tiempo se forman pequeñas deformaciones por el esfuerzo del músculo, el tendón y los ligamentos, lo que resulta en fatiga y dolor. Si el trabajador continua la acción que causa el dolor, los desórdenes por traumas acumulativos se desarrollan y se manifiestan como dolor, adormecimiento o pérdida de sensación, reducción de fortaleza, degradación de la habilidad de realizar trabajo, degradación de la habilidad para participar en actividades libres y pérdida del valor o propia estima.

Identificación de factores de riesgos ergonómicos

Para identificar los factores de riesgos ergonómicos en las estaciones de trabajo para la inspección de lentes de contacto hay que buscar todos los elementos del trabajo que aumentan la oportunidad de una lesión. Hay muchos factores de riesgos comunes en el área de trabajo y gran cantidad de éstos ya están asociados a ciertos traumas corporales. Para este análisis utilizamos la encuesta ergonómica obtenida del manual de Ergonomía

Aplicada². Esta encuesta se denomina "Baseline Risk Identification of Ergonomic Factors" (BRIEF, por sus siglas en inglés) y es una herramienta para identificar los factores de riesgos ergonómicos presentes en una estación de trabajo. Los factores de riesgos ergonómicos son elementos del trabajo o tarea que aumentan el riesgo de una lesión. La Administración para la Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés) define estos factores de riesgos ergonómicos como las condiciones de un trabajo, proceso u operación que contribuye a desarrollar un trauma de desorden acumulativo (OSHA 3123, 1990). Los factores de riesgos ergonómicos se deben interpretar como cualquier otro factor de riesgo.

La encuesta ergonómica de BRIEF nos presenta algunos de los factores de riesgos ergonómicos encontrados en las estaciones de trabajo y ofrece unas guías para identificar la presencia o ausencia de estos riesgos. Las guías para identificar estos factores se dividen en cinco secciones: mano y muñeca, brazo y hombro, cuello, espalda y piernas. A base de estas guías encontramos los siguientes factores:

- Mano y muñeca

La mano derecha ejecuta más la acción de apretar de pinzas, a razón de 30 manipulaciones por minuto. Hay posturas inadecuadas como desviación ulnar y radial y flexión de la muñeca.

- Brazo y hombro

Se adoptan posturas inadecuadas tales como el codo levantado por más de 10 segundos, el codo a la altura del pecho y esfuerzos mecánicos al colocar el codo sobre el borde de la mesa.

- Cuello

La posición del cuello a más de 20° de la vertical. Se torsiona y se dobla el cuello a razón de más de dos veces por minuto.

² Institute of Industrial Engineering. 1992, Applied Ergonomics Training Program., Humantech

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

- Espalda

Posición de la espalda doblada a más de 20°, doblada hacia los lados y torcida.

El resumen de alto riesgo que se provee en la encuesta determina las partes del cuerpo con un total de dos o más anotaciones por riesgo y por lo tanto nos indica la parte del cuerpo mayormente afectada. Los resultados de nuestra encuesta revelaron que el alto riesgo se encuentra en la parte derecha del cuerpo, especialmente en la mano, la muñeca y el hombro. El cuello y la espalda también representan mayor riesgo. La identificación y análisis de los factores de riesgos en la tarea de inspección de lentes vigente se realiza para determinar dónde se encuentran los mayores riesgos de la tarea, aplicar las guías ergonómicas que nos permitan minimizar o eliminar estos riesgos y diseñar una mejor estación. Las guías utilizadas para minimizar y eliminar estos factores de riesgos encontrados son como sigue:

Mano y muñeca

Proveer un aditamento de sostén para las piezas, lo que libera las manos.

Proveer aditamentos en ángulos para eliminar la postura incorrecta de la mano (flexión > 45°). Doblar la herramienta para no doblar la mano.

Orientar el equipo de trabajo para reducir las desviaciones ulnar y radial.

Subir el tope de la mesa o ajustar la altura de la silla para evitar trabajar a alturas impropias.

Brazo y hombro

Proveer la altura apropiada del tope de la mesa o ajustar correctamente la altura de la silla. Para trabajos de precisión se requieren de dos a cuatro pulgadas debajo de la altura del codo.

Cuello

Mantener más cerca el equipo o doblar la herramienta para eliminar la inclinación del cuello.

Reorientar el equipo para eliminar la flexión o torsión en el cuello.

Espalda

Orientar el equipo para eliminar la torsión de la espalda.

Piernas

Proveer un banquillo de pie para eliminar cualquier dolor en las rodillas, espalda y pies.

Proveer una silla de altura ajustable.

Simulación del método vigente

MANNEQUIN es el primer programa de computadoras de diseño y dibujo ergonómico que dibuja gente. Este programa nos permite animar una tarea y calcular sus torques estáticos. La animación del método vigente conlleva 25 vistas para simular un ciclo completo de inspección del lente. La simulación realizada en MANNEQUIN sólo incluye la animación de la tarea con el único propósito de presentar la idea o demostrar el método. De esta animación no podemos calcular esfuerzos debido a que el programa no ofrece análisis de torques dinámicos; sólo ofrece torques estáticos. Para realizar el análisis de torques estáticos se requiere una entrada de datos de fuerza y momentos creados en las manos y los pies. El programa para esta alternativa considera que se sostiene alguna carga en las manos. Como el producto analizado es de peso insignificante, se presumió para esta entrada de datos el peso del brazo de la persona y el segmento del cuerpo con respecto al peso del cuerpo de la persona, según la tabla 13.2 del libro de

Ergonomía Industrial³. Las estaciones de trabajo utilizadas en el programa MANNEQUIN se dibujaron en AutoCad r.10 y se importaron al programa como archivos DXF. La tabla 3 describe las vistas de la animación para el método vigente.

Tabla 3. Descripción de las vistas de la animación (método vigente).

Vista núm.	Descripción
1	Obtener un lente del lote de lentes en envase.
2	Mover el lente a la servilleta.
3	Colocar el lente en la servilleta.
4	Secar el lente en la servilleta.
5	Tomar el lente de la servilleta.
6	Mover el lente hacia la apertura del lensómetro.
7	Colocar la mano derecha en la manecilla del lensómetro.
8	Girar la manecilla del lensómetro.
9	Tomar el lente de la apertura del lensómetro.
10	Mover el lente hacia los envases con solución salina.
11	Mover el lente hacia adentro del envase.
12	Enjuagar el lente.
13	Colocar el lente en el microscopio.
14	Inspeccionar el lente en el microscopio.
15	Inspeccionar el lente en el microscopio.
16	Mover el lente hacia los envases con solución salina y tomar vial del lente.
17	Enjuagar el lente en los envases de solución salina.
18	Enjuagar el lente en los envases de solución salina.
19	Colocar las manos frente al cuerpo.
20	Depositar el lente en vial.
21	Colocar el lente en el prisma.
22	Entrar el código de barra del vial al sistema.
23	Colocar la mano derecha en la bandeja del lote.
24	Colocar el vial con lente dentro de la bandeja del lote.
25	Presionar el botón del lensómetro para registrar la potencia del lente.

³ Konz, S., 1990, *Work Desing: Industrial Ergonomics*. Arizona Publishing Horizons, 3rd ed.

Resultados de la simulación del método vigente

De acuerdo a los resultados de la simulación (fig. 4), los mayores esfuerzos se concentran en la cadera por ser esta tarea una de posición sentada. Comparando el lado derecho con el lado izquierdo del cuerpo en las gráficas obtenidas se muestra que el total de los esfuerzos se concentran más en el lado derecho que en el izquierdo (tabla 4).



Figura 3: Estación de inspección de lentes de contacto (método vigente)

Tabla 4. Comparación de esfuerzos

Parte del cuerpo	Esfuerzo (lb-ft)
Lado derecho	168
Lado izquierdo	142
Espalda	35
Cuello	12

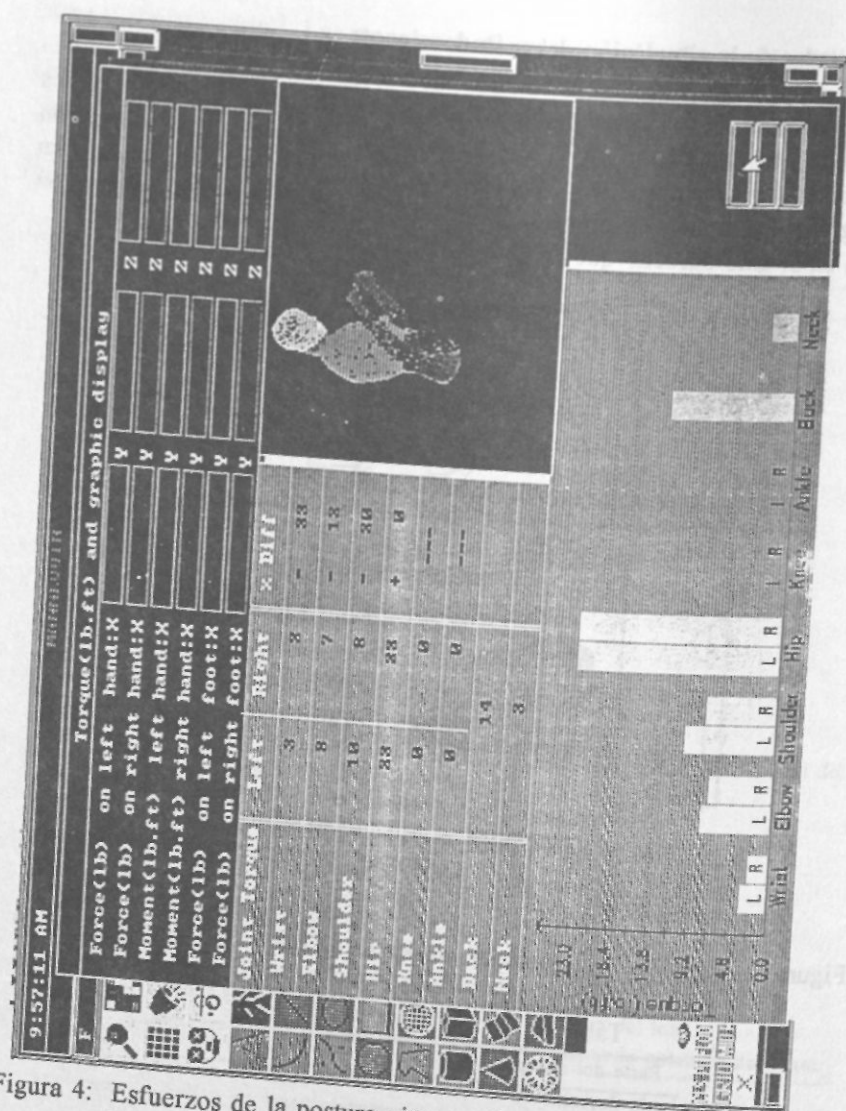


Figura 4: Esfuerzos de la postura vigente al colocar y secar el lente en la servilleta (diagrama del sistema MANNEQUIN)

La información de los torques describe los momentos tridimensionales. Los momentos sobre las uniones proveen una forma de identificar las partes de esfuerzos de una tarea rediseñada. El momento de una fuerza alrededor de un punto es una medida de la fuerza giratoria alrededor de punto. El porcentaje de diferencia de la gráfica muestra la diferencia en el torque entre los lados derecho e izquierdo.

Con MANNEQUIN calculamos los alcances máximos y normales para este método (fig. 5) y comprobamos que las áreas normales y máximas no están dentro de los límites aceptados. Las posturas en estas vistas crean esfuerzos en el codo, muñeca, hombro, espalda y cuello. Estas posturas deben modificarse eliminando los movimientos innecesarios o incorrectos para reducir o eliminar los esfuerzos.

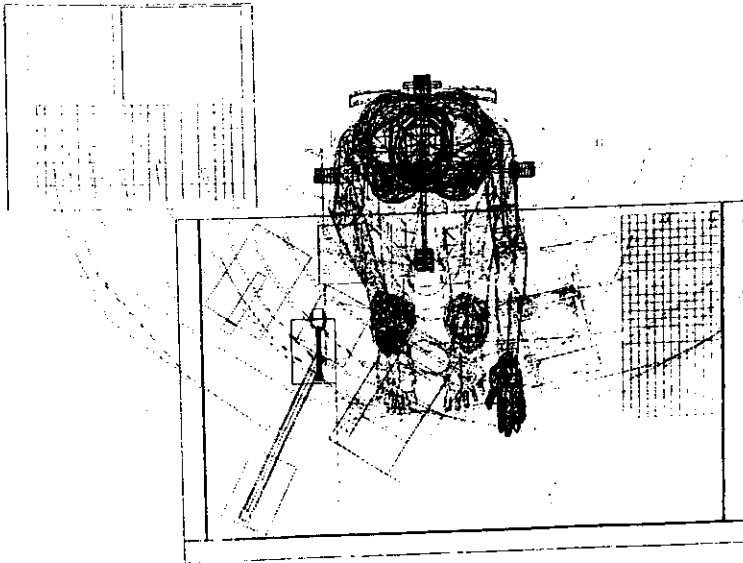


Figura 5: Alcances máximos y normales de las manos - método vigente ("sketch top view")

Análisis y simulación del método propuesto

El diseño en el método propuesto considera un rearrreglo del equipo y materiales utilizados en la estación de inspección, además de añadir unos aditamentos para eliminar varias pobres posturas. Este rearrreglo se detalla a continuación:

- Mover la mesa del lado derecho al izquierdo.
- Mover la bandeja de rechazos al lado derecho del tope de la mesa.
- Mover el microscopio frente al operador en vez de estar inclinado y de lado.
- Mover el prisma con adaptador y el registrador de código de barra al lado izquierdo de la mesa.
- Mover el envase de lotes hacia el lado derecho, junto con los tres envases de solución salina.
- Mover las servilletas más cerca del microscopio.
- Mover el lensómetro del centro de la mesa al lado izquierdo.
- Añadir una base con copa inclinada para inclinar el envase de lote de lentes.
- Proveerle una base a los microscopios más bajos.

La estación de trabajo propuesta para la inspección de lentes (fig. 6) provee lo siguiente:

- Estandarización del método de operación, ya que todas las estaciones van a estar con el mismo arreglo.
- Evita el uso de la mano como aparato sostenedor.
- Elimina la postura del cuello al obtener el lente.
- Facilita el tomar el lente del envase.
- Provee un balance de movimientos realizados en las manos.
- Maximiza los movimientos para reducir el tiempo de operación total.
- Provee un flujo continuo de la operación.
- Provee mejor postura del cuello y de la espalda al inspeccionar el microscopio.

- Elimina movimientos o posturas impropias tales como flexión y torsión del cuello y espalda.

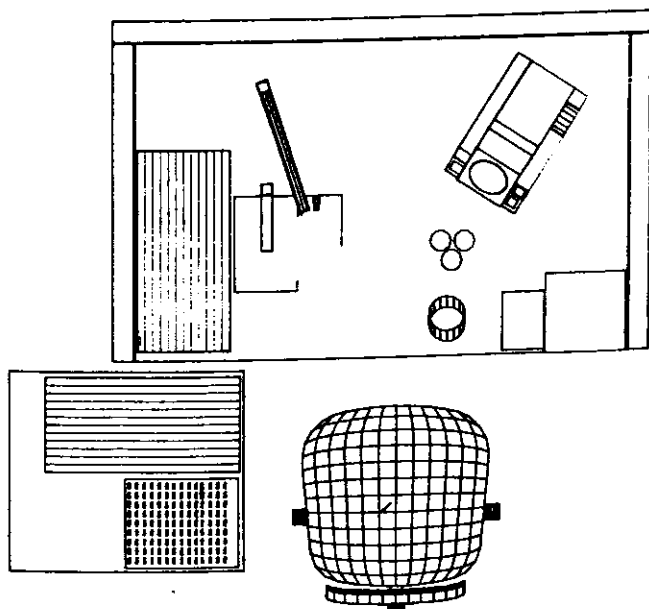


Figura 6: Estación de inspección de lentes de contacto (Propuesto)

De acuerdo al análisis realizado para el método propuesto (fig. 7), la mano izquierda realiza 20 movimientos y de éstos 18 están dentro de la zona cómoda y 2 en la máxima. La mano derecha realiza 23 movimientos de los cuales 17 están dentro de la zona cómoda y 6 están en la zona máxima. En resumen, de 43 movimientos realizados en el método propuesto, 35 están en la zona cómoda y 6 en la máxima.

Soto y Diaz/Simulación estaciones trabajo

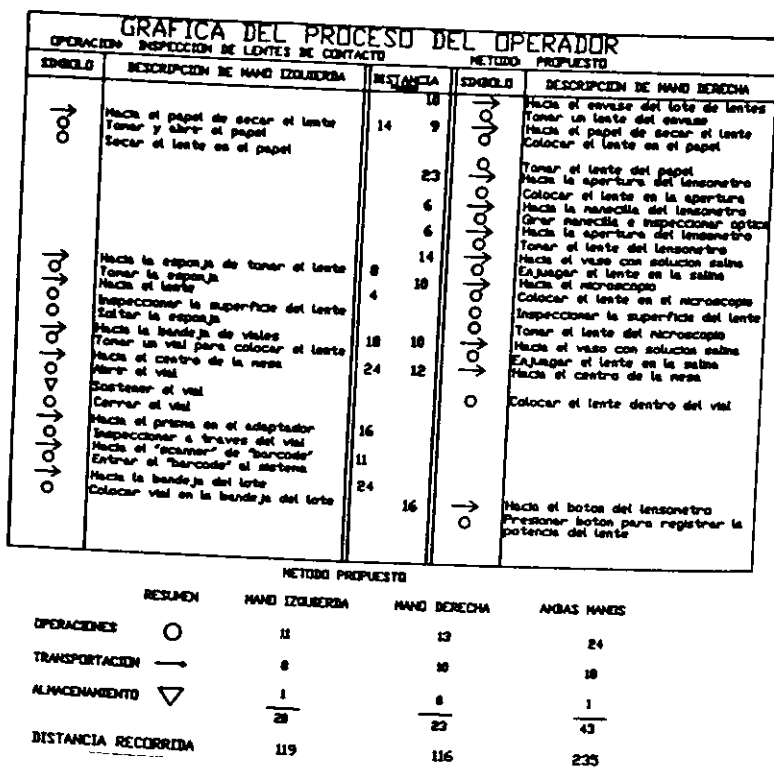


Figura 7: Gráfica del operador - método propuesto (operaciones y movimientos) T128 R32

Base con copa inclinada propuesta

La figura 8 muestra el diseño de la base con copa inclinada propuesta con sus especificaciones para colocar el envase del lote de lentes. El propósito de esta base es eliminar el uso de la mano como aparato sostenedor, eliminar el movimiento inseguro de apoyar el envase sobre la tapa y la servilleta para inclinarlo, lo que ofrece la alternativa de doblar la herramienta y no la mano. Además facilita la visibilidad al tomar un lente porque el material es negro.

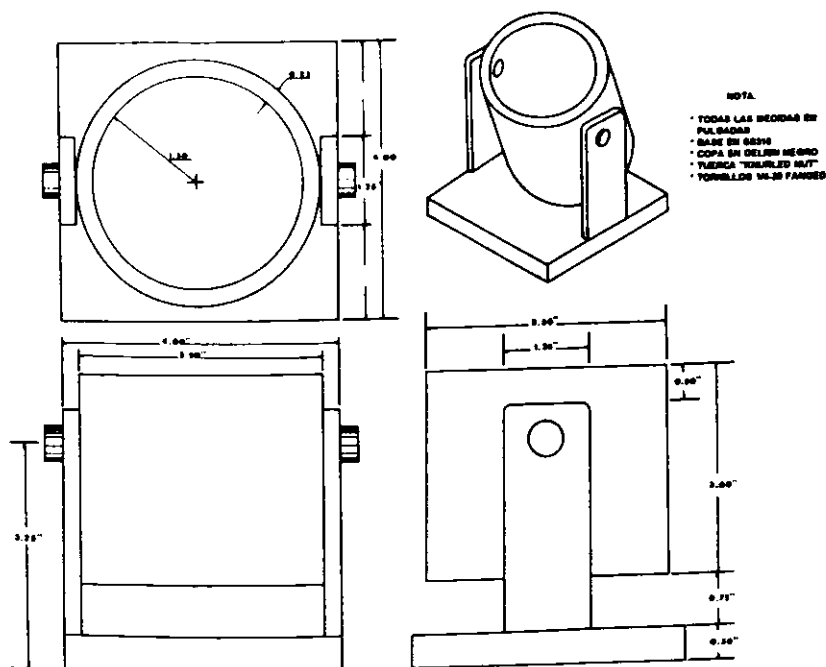


Figura 8: Base con copa inclinada T132 R35

Especificaciones de la base con copa:

- Material de la base es acero inoxidable (SS316)
- Material de la copa es delrin negro
- Dos tuercas tipo "knurled nut" 18-8, 3/4" en acero inoxidable
- Dos tornillos 1/4-20, "fanged", 3/4" largo, SS
- Cuatro tornillos tipo "socket head" 8-32, SS 3/4"

Simulación del método propuesto

La animación del método propuesto consiste de 25 vistas para simular un ciclo completo. De estas vistas, cuatro se consideran las más críticas y se evaluaron en torques estáticos. Se utilizó el mismo criterio del método vigente para calcular los torques estáticos. Al igual que el método vigente, la estación propuesta se dibujó en AUTOCAD r.10. Con esta técnica de la simulación se espera reproducir el trabajo en forma real y poder medir capacidades y posibilidades.

El programa MANNEQUIN provee para calcular el alcance de visión óptima y máxima. El alcance de visión óptima define lo que el maniquí seleccionado puede ver de forma cómoda y clara. Este alcance lo representa en la figura 9 el grupo de líneas menos extensas o más agrupadas. El alcance de visión máxima define las partes de la escena que caen entre la visión periferal del maniquí seleccionado y lo representa el grupo de líneas más extenso o más disperso. La tabla 5 describe las vistas de la animación para el método propuesto. El rango de visión que muestra la figura 9 es para la posición del cuello a 20° de inclinación y a 10° de inclinación de la cabeza.

Comparación de dimensiones con las guías ergonómicas

La tabla 6 presenta los resultados del análisis de los criterios de dimensiones de alcance y distancias establecidos para la estación. Las medidas de alcance máximo están dentro del límite para un varón corpulento y el alcance vertical cae dentro de lo establecido. Ninguna de las otras medidas sobrepasa los límites para un varón corpulento. Otras medidas, tales como distancia de la cabeza al codo, codo a silla y espacio de rodilla, no están dentro de los límites, pero esto puede ser causado porque las dimensiones del dibujo en AUTOCAD se alteraron por 4 a 5 pulgadas al importar el dibujo en MANNEQUIN (figuras 10 y 11).

Tabla 5. Descripción de las vistas de la animación para el método propuesto

Vista núm.	Descripción
1	Obtener un lente del lote de lentes en el envase.
2	Mover el lente a la servilleta.
3	Colocar el lente en la servilleta.
4	Secar el lente en la servilleta.
5	Tomar el lente de la servilleta.
6	Mover el lente hacia la apertura del lensómetro y colocarlo en la apertura
7	Colocar la mano derecha en la manecilla del lensómetro.
8	Girar la manecilla del lensómetro.
9	Tomar el lente de la apertura del lensómetro.
10	Mover el lente hacia los envases con solución salina.
11	Mover el lente hacia adentro del envase.
12	Enjuagar el lente.
13	Colocar el lente en el microscopio.
14	Inspeccionar el lente en el microscopio.
15	Inspeccionar el lente en el microscopio.
16	Mover el lente hacia los envases con solución salina y tomar vial del lente.
17	Enjuagar el lente en los envases de solución salina.
18	Enjuagar el lente en los envases de solución salina.
19	Colocar las manos frente al cuerpo.
20	Depositara el lente en vial.
21	Colocar el lente en el prisma.
22	Entrar el código de barra del vial al sistema.
23	Colocar la mano derecha en la bandeja del lote.
24	Colocar el vial con lente dentro de la bandeja del lote.
25	Presionar el botón del lensómetro para registrar la potencia del lente.

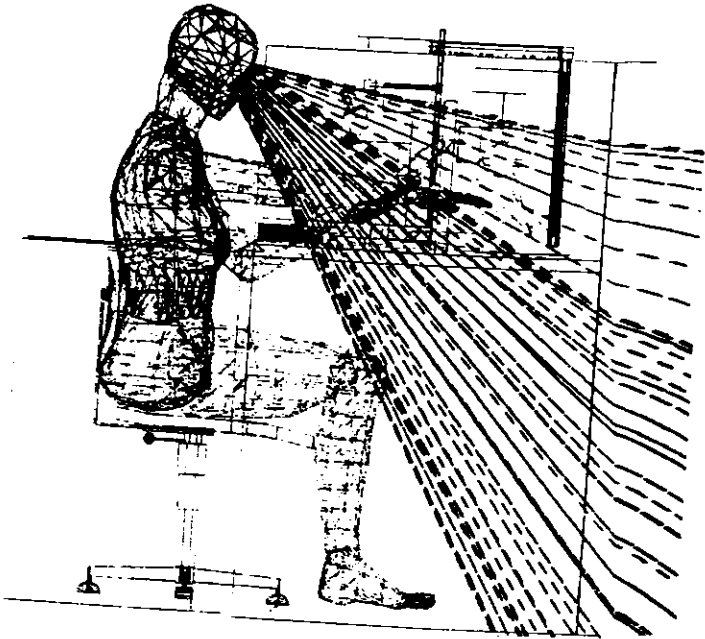


Figura 9 Rango de visión óptimo y máximo del método **propuesto**

Tabla 6. Alcance y distancias establecidas

Dimensión grande	Propuesto(ft)	Fémica pequeña(ft)	Masculino grande (ft)
Alcance normal	1.722	1.25	1.58
Alcance máximo	2.254	1.83	2.25
Alcance vertical	1.498	1.44 - 3.00	
Cabeza al codo	2.178	2.58	3.17
Silla al piso	1.409	0.917	1.58
Codo a la silla	0.769	0.583	1.00
Codo al piso	2.191	1.83	2.58
Espacio de rodilla	0.525	0.583	
Espacio entre piernas	3.129	2.00	2.00

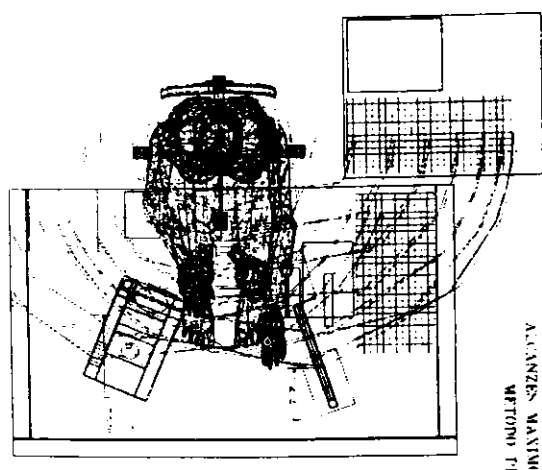


Figura 10: Alcances máximos y normales según el método propuesto

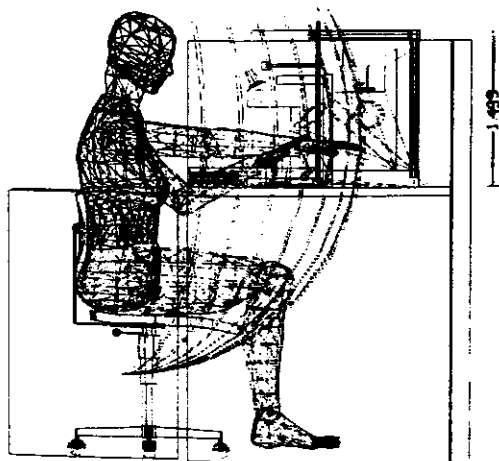


Figura 11: Alcance vertical de ambas manos

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

Resultados de los torques estáticos

Los resultados de la simulación muestran, al igual que en el método vigente, que los mayores esfuerzos se concentran en la cadera y esto es porque la persona está sentada. La tabla 7 resume el total de esfuerzos.

Tabla 7. Total de esfuerzos

Parte del cuerpo	Esfuerzo (lb-ft)
Lado derecho	161
Lado izquierdo	140
Espalda	24
Cuello	8

Comparación de los torques estáticos

La comparación de las vistas críticas muestra los siguientes resultados de reducción de esfuerzos por parte del cuerpo en el método propuesto (tabla 8).

Tabla 8 Comparación de esfuerzos totales (lb-ft) con ambas partes del cuerpo

Parte del cuerpo	Vigente	Propuesto	% cambio
Muñeca	15	12	- 20
Codo	47	49	+ 4
Hombro	64	58	- 9
Cadera	184	182	- 1
Rodilla	0	0	0
Tobillo	0	0	0
Espalda	35	24	- 31
Cuello	12	8	- 33

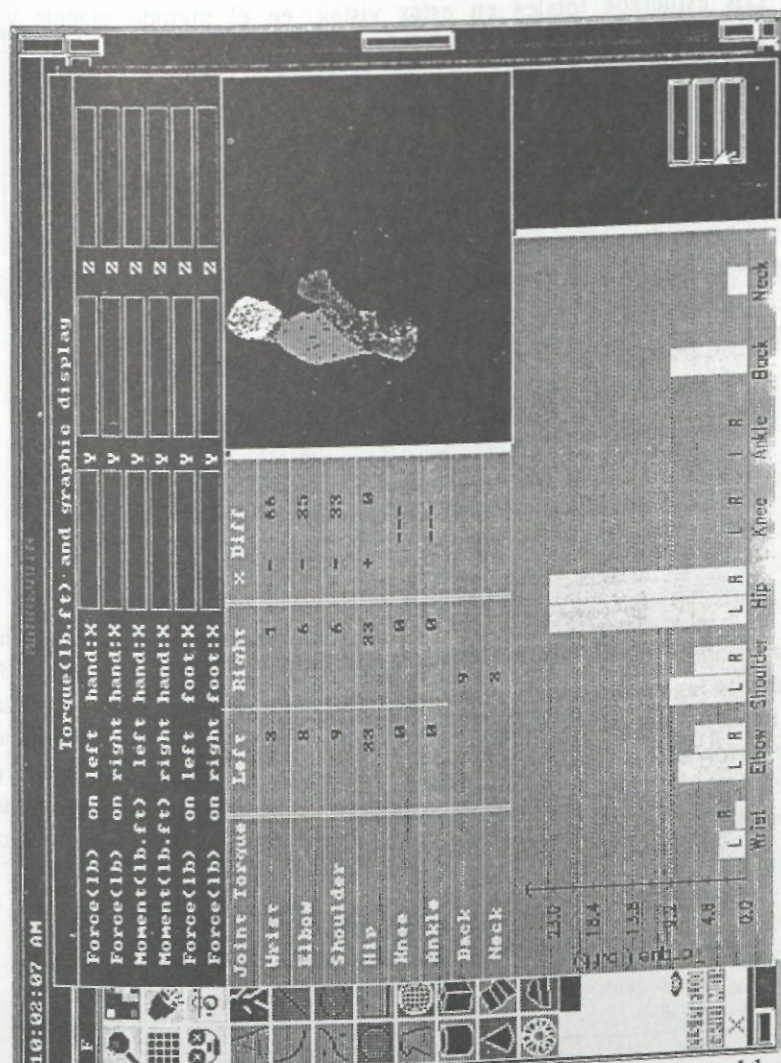


Figura 12: Esfuerzos de la postura propuesta al colocar y secar el lente en la servilleta.(Diagrama MANNEQUIN)

Soto y Diaz/Simulación estaciones trabajo

Los esfuerzos totales en estas vistas, en el método vigente y el propuesto, son 357 lb-ft y 333 lb-ft, respectivamente, lo que representa un 6.7% de reducción en los esfuerzos totales. La figura 13 muestra un ejemplo de la comparación de torques estáticos entre ambos métodos.

Comparación de tiempos, flujo y movimientos

La comparación de tiempos mostró que hay un aumento de 9.2% en producción del método propuesto contra el estándar avigente (65 lentes/hr) y, comparado con el vigente, el método propuesto logra un aumento de 4.4%. La tabla 9 muestra estos resultados del estudio de tiempos.

Tabla 9. Comparación de tiempos

	Vigente	Propuesto
Total minutos por lente	0.7693	0.7048
20% de tolerancia	0.1539	0.1410
Total de minutos estándar por lente	0.9232	0.8458
Unidades por hora	65	71

La tabla 10 muestra la distancia balística recorrida por el movimiento de las manos. Con el método propuesto se reflejó una reducción de 14.8% en la distancia balística. La comparación de los movimientos que realizan las manos en el análisis del método (tabla 11) reflejó que el sistema propuesto reduce en un 6.5% los movimientos y provee un balance de movimientos de las manos. La tabla 12 muestra la cantidad de movimientos que se encuentran en la zona cómoda y la zona máxima en ambos métodos.

Tabla 10: Comparación de distancias balísticas

Distancia balística	Vigente	Propuesto
Mano izquierda	83	119
Mano derecha	193	116
Total	276	235

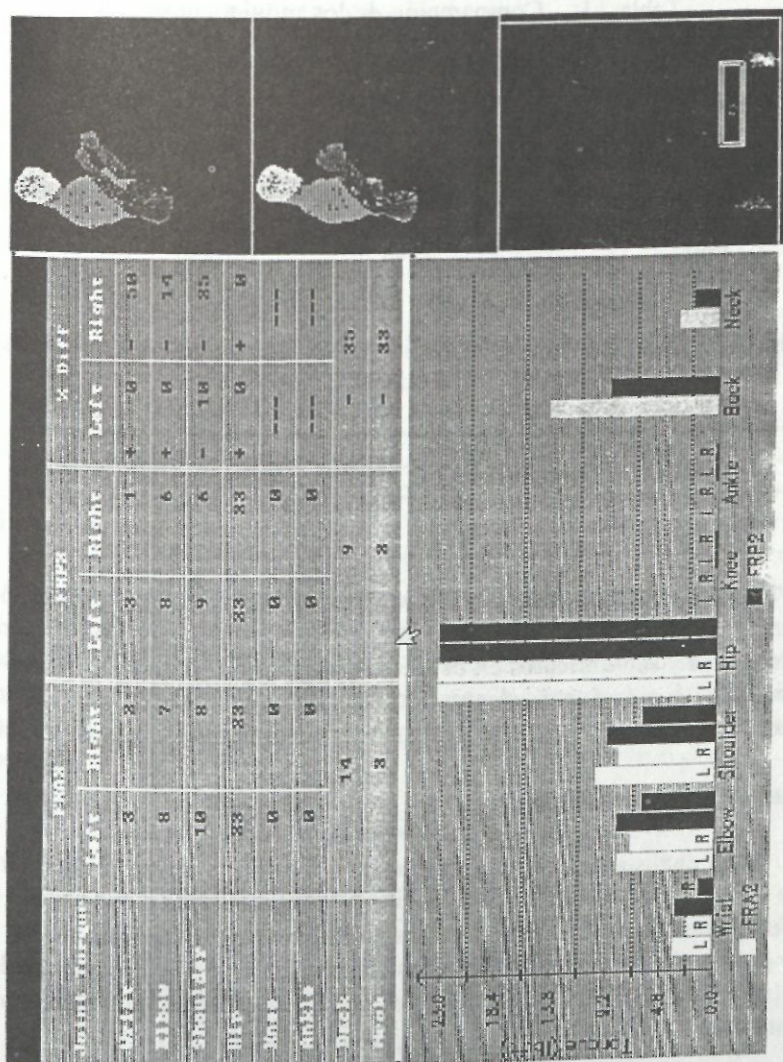


Figura 13: Comparación de esfuerzos de las posturas vigente y propuesta de colocar y secar el lente. T162 R45

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

Tabla 11: Comparación de los movimientos

Movimiento	Vigente		Propuesto	
	MD	MI	MD	MI
Operaciones	8	17	11	13
Transportaciones	6	13	8	10
Almacenamiento	1	1	1	0
Total por mano	15	31	20	23
Total	46		43	

Tabla 12: Comparación de movimientos en la zona cómoda y la zona máxima

Zona	Vigente			Propuesto		
	MD	MI	Total	MD	MI	Total
Cómoda	18	13	31	17	18	35
Máxima	13	2	15	6	2	8

El estimado de costos (tabla 13) muestra un ahorro de \$440,378 al año. El análisis se realizó utilizando el estimador de reducción debido a mejoras en esfuerzos y movimientos en el método propuesto. Puede haber mejores estimadores que éste, pero dentro de nuestras limitaciones de información de costos confidenciales de la compañía, ésta era la alternativa disponible.

Otras posibles alternativas

En el análisis del método vigente se consideró evaluar la alternativa más viable y rápida de implantar debido a las necesidades a corto plazo de la compañía. Se pueden evaluar otras alternativas en un análisis similar al que se hizo para este estudio. Hay dos alternativas a largo plazo que pueden evaluarse: la división de tareas y el uso de estaciones completamente ajustables.

Tabla 13. Estimación económica

	Actual	Propuesto
Costo directo de producción	22,260,506	22,260,506
+ costo "rework"	9,624	8,664
+ costo rechazos	2,189,658	1,970,691
Subtotal	24,459,788	24,239,861
Ganancia en "rework"	-	960
Ganancia en rechazos	-	218,967
Subtotal	-	24,019,934
Costo de ausentismo	11,520	9,600
Costo de lesiones totales	57,600	55,680
Costo de implantación	-	3,316
Total	24,528,908	24,088,530

División de tareas

En la inspección evaluada se realizan básicamente tres inspecciones: la inspección de óptica y poder dióptrico, la de superficie y la de particulado. Si se divide la tarea en varios procesos se puede reducir el nivel de repetitividad. La tabla 14 presenta los resultados de un análisis preliminar de los movimientos realizados por tarea, usando la gráfica del operador.

Tabla 14. Movimientos por tarea

Tipo de inspección	Movimientos/hora
Optica y poder dióptrico	1040
Superficie	1495 ^{***}
Particulado	585 ^{***}
[*] (16 movimientos/unidad) (65 unidades/hora)	
^{**} (9 movimientos/unidad) (65 unidades/hora)	
^{***} (9 movimientos/unidad) (65 unidades/hora)	

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

A base de estos resultados vemos que se reduce la repetitividad de la tarea, la cual está dentro los límites aceptados en las guías ergonómicas. Las desventajas de dividir esta tarea son:

- Se requiere mejorar el sistema de informática para cumplir con este cambio y esto requiere a su vez un estudio de viabilidad
- Se requieren más equipos y materiales en el área
- Hay más manejo del mismo lote por diferentes personas y hay que determinar cómo se afecta la calidad del lente.
- Para desarrollar este cambio se necesita añadir un estudio de balanceo de líneas para determinar la capacidad.

Estación ajustable

Otra posible alternativa que se puede considerar es rediseñar completamente la estación de inspección. La meta de la ergonomía es proveer el mejor ajuste de trabajo con los trabajadores. Para lograr esta meta hay que proveer una estación completamente ajustable para ajustar el equipo según se requiere. Esta alternativa conlleva cambios de la mesa de trabajo, reemplazo de equipo y mejoras al equipo existente. Esto tiene la ventaja de mejorar todos los elementos positivos del diseño ergonómico.

Una desventaja de esta alternativa es el factor económico. Debido al número de estaciones en el área y los cambios que hay que hacer, la alternativa es cara. Una estación ajustable tiene un costo estimado de \$2,500.

Conclusión

A base a los resultados obtenidos de la simulación usando el programa MANNEQUIN y el análisis de ambos métodos, podemos concluir que el método propuesto es una alternativa viable, rápida de implementar y con resultados positivos para su implementación.

- La comparación de los torques estáticos en ambos métodos revela que todas las partes del cuerpo, excepto una, muestran reducción de esfuerzos en el método propuesto.
- De acuerdo al total de esfuerzos de las vistas, hay un 6.7% de reducción de esfuerzos totales en el sistema propuesto. Las partes más críticas, espalda y cuello, muestran respectivamente un 31% y un 33% de reducción de esfuerzos en el método propuesto.
- Los esfuerzos totales de la muñeca, la cual representaba un área crítica, se reducen un 20% en el método propuesto.
- Hay un aumento de producción de 9.2% y un 6.5% de reducción de movimientos logrando un balance de los movimientos en ambas manos.
- Se eliminan factores de riesgo tales como liberar la mano de sostener piezas, flexión mayor de 45°, desviación ulnar y radial, trabajo a alturas impropias, inclinación inadecuada del cuello y la espalda y flexión y torsión inadecuada del cuello y la espalda.

Recomendaciones

Para realizar un trabajo más seguro, cómodo y productivo en esta área de inspección proponemos las siguientes recomendaciones:

- Rearreglar el despliegue de las estaciones de inspección considerando el flujo del trabajo y el análisis del método en conjunto a las consideraciones ergonómicas. El diseño propuesto considera los siguientes cambios para balancear los movimientos de las manos, minimizar los problemas ergonómicos y eliminar todo movimiento innecesario:
 - mover el microscopio al centro de la mesa ya que es la parte más crítica de la tarea.

Soto y Díaz/Simulación estaciones trabajo

- mover el prisma, el registrador de código de barra y la mesa del lado hacia el lado izquierdo para nivelar los movimientos realizados por las manos y eliminar movimientos que sean innecesarios.
- Proveerles una base a los microscopios más bajos, de por lo menos 2 pulgadas, para aumentar la altura del equipo y eliminar posturas inadecuadas.
- Proveer una base con inclinación para el envase del lote de lentes para minimizar el tiempo de tomar un lente, eliminar posturas inadecuadas del cuello y la mano y mejorar la visibilidad al tomar un lente.
- Proveer un banquillo de pie o algo similar que cumpla con el mismo propósito para evitar malestares en el futuro.
- Adiestrar los inspectores para que ajusten su silla de acuerdo a las guías ergonómicas antes de comenzar a trabajar.
- Rotar el personal a otras áreas de trabajo para eliminar la rutina de la tarea.
- Proveer períodos para relajar o ejercitar el cuerpo para mejorar la calidad de vida y evitar el estar mucho tiempo sentados.
- Adiestrar al personal, tanto del área de "Wet" como de las otras áreas, en los peligros ergonómicos y cómo evitarlos. Esto puede realizarse mediante pequeñas charlas o conferencias.
- Otras alternativas no analizadas en este estudio pueden considerarse a largo plazo. Estas son la división de tareas para reducir el nivel de repetitividad y cambiar el diseño completo de la estación mediante una estación completamente ajustable según los criterios ergonómicos

Apéndice 1: Adiestramiento ergonómico (alternativa recomendada)

Para el buen funcionamiento de un programa ergonómico las personas envueltas deben entender cómo identificar y controlar los esfuerzos físicos excesivos en las operaciones industriales. El adiestramiento asegura que los empleados se informen sobre los peligros ergonómicos a los cuales están expuestos y participen activamente en su propia protección. Este programa de adiestramiento debe incluir a todo empleado, al personal de ingeniería y mantenimiento, a los supervisores y gerentes y al personal médico. La agenda recomendada para esto es la siguiente:

Agenda

I. Introducción

Conceptos básicos sobre ergonomía y sobre lesiones ocupacionales.

II. Propósito y metas

Presentar las razones para el adiestramiento y lo que se espera lograr con el mismo, instruir a los empleados sobre los conceptos de salud, riesgos de lesiones y estilos de vida y proveerles las destrezas necesarias para adoptar y mantener buenos hábitos de salud.

III. Adiestramiento

El adiestramiento se le debe proveer a todas las personas en la planta y debe prepararse de acuerdo a su trabajo. Esto puede ser de la siguiente forma:

A. General

Debe proveer para personas expuestas frecuentemente a problemas ergonómicos y debe incluir información sobre los peligros asociados a su trabajo, desórdenes de traumas acumulativos (CTD) y factores de riesgos asociados.

Soto y Diaz/Simulación estaciones trabajo

B. Supervisores

Similar al general, pero debe ofrecer información que permita detectar anticipadamente los signos y síntomas, reconocer las prácticas de trabajo peligrosas y corregirlas.

C. Gerentes

Debe tener información relacionada con las fuentes ergonómicas, incluyendo sus costos, de cada estación de trabajo y del proceso de producción de tal manera de que esté consciente de sus responsabilidades de salud y seguridad.

D. Ingeniería y personal mantenimiento

Debe enfocar la prevención y corrección de los peligros ergonómicos a través del diseño de estaciones de trabajo y mantenimiento apropiado.

IV. Actividades

Seleccionar actividades que permitan orientación en general. Estas actividades pueden consistir de ejercicios ergonómicos, charlas y clínicas para las personas de acuerdo a su función. Otras alternativas pueden ser publicidad y promoción interna y externa.

V. Presupuesto

Realizar un análisis económico de las alternativas a utilizarse para cumplir con el propósito.

VI. Evaluación

Enumerar los criterios de seguimiento y auditoría del adiestramiento a utilizarse para evaluar el funcionamiento del mismo. Esto puede incluir encuestas de salud, listas de cotejo en su área para seguir unas guías ergonómicas.